

République Arabe d'Egypte
Ministère de L'Education et
de L'Enseignement
Et L'Enseignement Technique
Secteur du livre
L'Administration Centrale
des affaires des livres





PHYSIQUE

Deuxième année secondaire

2018-2019



République Arabe d'Egypte
Ministère de L'Education et
de L'Enseignement
Et l'enseignement technique
Secteur du livre

PHYSIQUE

Deuxième année secondaire

Groupe de preparation du livre évolué

Prof. D. **Mostapha Kamal Mohamed Youssef**
Prof. de physique
Faculté de Sciences université de Mansoura

Prof. D. **Mohamed Sameh Saïd**
Prof. et chef du département d'électronique
et de communications
Université du Caire

D. **Mostapha Mohamed El Sayed Mohamed**
Prof. de physique
Faculté de Pédagogie
Université de Ain Shams

D. **Tarek Mohamed Talaat Salama**
Prof. de physique
Faculté de Sciences
Université de Zagazig

Mme **Karima Abdel Alim Sayed Ahmed**
Inspecteur général de physique
au bureau du conseiller des sciences

Groupe de révision du livre évolué

Prof. D. **Mohamed Amin Soliman**
Prof. de physique
Faculté de Sciences-Université du Caire

Prof. D. **Sobhi Ragab Atallah**
Prof. de physique
Faculté de Sciences-Université du Fayoum

M. **Chawki Darwich Moharram**
Ex conseiller des sciences

D. **Khaled Mohamed Sayed**
Chercheur au centre des examens et du
renforcement éducatif

M. **Youssri Fouad**
Conseiller des sciences au ministère

Équipe de modification

Dr. Mohamed Ahmed Kamel

Mr. Sadaka el dardir Mohamed

Mr. Alla el Deen Amer

Traduit par

A.Baracat - J. Nessim - R. Chémaly - M. Tewfik -
S. Zakhary - Sadaka El dardir

Révisé par

L'I.F.E.P.E

2018 - 2019


المحتويات



الفيزياء هى ركيزة العلوم الأساسية : فكلمة فيزياء تعنى فهم طبيعة هذا الكون من حولنا، وما يجرى فيه كبيرًا وصغيرًا ، وهى أصل العلوم ويتشابك معها علم الكيمياء الذى يختص بفهم التفاعلات بين المواد وعلم البيولوجى ويختص بما يحدث فى الكائنات الحية، وعلم الجيولوجيا ويعنى بفهم طبقات الأرض ، وعلم الفلك ويعنى بالأجرام السماوية ، ولكن فى النهاية تبقى الفيزياء أن العلوم وهى أساس التقدم العلمى والتكنولوجى الهائل، وفهم الفيزياء يعنى فهم القوانين الحاكمة لهذا الكون وهو ما أدى إلى النهضة الصناعية الحضارية التى يقودها الغرب الآن، ولم يكن العرب والمسلمون عامة قادة الحضارة فى العالم إلا بإدراكهم لقيمة فهم قوانين هذا الكون.. وكان لهم فضل اكتشاف معظم قوانين الفيزياء قبل الغرب بقرون، وما أُسُس الطب والفيزياء والكيمياء والفلك والرياضيات والموسيقى إلا من وضع علماء العرب والمسلمين.

إن فهم الفيزياء وتطبيقاتها يحول المجتمع من مجتمع ضعيف وفقير ومتخلف إلى مجتمع قوى وغنّى ومتقدم ، وهذا ما حدث فى أوروبا وأمريكا واليابان. الكمبيوتر والأقمار الصناعية والتليفون المحمول والتليفزيون كل هذه من ثمار علم الفيزياء، ثم إنهم يبحثون الآن فى تركيب الجينات وتصنيع كمبيوتر بالشفرة الجينية، وقريبًا يتم تصنيع كمبيوتر باستخدام الذرة والليزر.

إنه عالم رحب لا حدود للخيال فيه، والذى يجهله إنما يحكم على نفسه بالفناء فى عالم لا يعترف إلا بسطوة العلم وقوة الفكر وروعة الإبداع. إن التقدم العلمى ثمرة لسلسلة طويلة من الاكتشافات. إذ لم يأت هذا التقدم فجأة، ولكنه رصيد متراكم، فالعلم مشروع جماعى. كل من ساهم فيه كان لابد له أولاً أن يستوعب ما حققه الآخرون قبله، وتتابعيًا تم بناء هذا الصرح العظيم من تراكم الخبرة الإنسانية عبر التاريخ. ولكن المطلوب من طالب العلم فى هذا العصر أن يلم وبسرعة بما سبق تراكمه من معرفة فى فترة زمنية وجيزة حتى يمكنه أن يضيف جديدًا فى فترة حياته وهى أولا وآخرًا فترة محدودة. كيف إذًا يمكن حصر كل ما سبقنا فيه الأولون فى فترة دراسية محدودة حتى نفهم ثم نضيف ؟ من حسن حظنا أننا فى دراستنا لما سبقنا فيه الأولون نأخذ خلاصة ما وصلوا عليه ونغض الطرف عن سنوات طويلة من تفاصيل العناء والبحث والتجربة والمشاهدة والمحاولات والإخفاقات. نأخذ فقط ما صح من النتائج وما انتهى إليه الآخرون قبلنا وبما استقر عليه الفهم بعد أن نضج العقل البشرى على مدى القرون. ومن ثم فعلينا أن نركز على المفاهيم الأساسية فى هذا البحر الزاخم ونترك التفاصيل لما بعد، فلا يمكن أن يلم أحد بكافة تفاصيل العلم ولو قضى حياته كلها فى فرع صغير من فروع أى علم من العلوم، ولكننا لابد أن نمركز على عدد محدود من المفاهيم الرئيسية والمرجعية، ونمهد لما بعدها.

ينقسم هذا الكتاب إلى خمس وحدات :

الوحدة الأولى : تتناول الموجات وهى أساس كل الاتصالات فى هذا الكون، ومن ثم يتناول الفصل الأول أساس الحركة الموجبة، والثانى الصوت، والثالث الضوء هو أحد الموجات الكهرومغناطيسية. مثل: موجات الإذاعة والتليفزيون، وأساس عمل أجهزة التليفون المحمول والتواصل مع المحطات الفضائية عبر الأقمار الصناعية.

أما **الوحدة الثانية** فتتناول خواص الموائع وهى السوائل والغازات وهى امتداد لقوانين الميكانيكا التى سبق دراستها فى الصف الأول من التعليم الثانوى العام ، ولكن فى حالة الموائع ويختص الفصل الرابع بالموائع الساكنة والفصل الخامس بالموائع المتحركة .

تتناول **الوحدة الثالثة** الحرارة ، ويتم دراسة قوانين الغازات فى الفصل السادس، ونظرية الحركة للغازات فى الفصل السابع .

ولقد روعى فى هذا الكتاب ما يلى :

١ ـ إزالة الحشو والتفاصيل غير الضرورية فى هذه المرحلة الدراسية والتركيز على المفاهيم العامة وترك الزيادات التى لا تصب مباشرة فى الفهم العام للموضوع .

٢ ـ البدء بالموجات باعتبارها الموضوع الأعم حيث تتطلب الموجات وسطًا ماديًا (فى حالة الصوت) أولاً تتطلب هذا الوسط (مثلاً فى حالة الضوء) تليها جسيمات الوسط من مكان لآخر.

٣ ـ بدأت الحرارة بقوانين الغازات ونظرية الحركة للغازات وفيزياء درجات الحرارة المنخفضة مع تطبيق عن التبريد (الثلاجة) مع إضافة موضوع التوصيل الفائق.

٤ ـ ثم تناول الكهربية والمغناطيسية فى ثلاث فصول محددة فى أساسيات الكهربية والمغناطيسية وتطبيقاتها.

٥ ـ تم إبراز المفاهيم الحديثة للفيزياء وخاصة الظواهر الكمية وميكانيكا الكم من خلال فهم ازدواجية الموجة والجسيم وشرح التجارب العملية التى تثبت هذه الظواهر مثل إشعاع الجسم الأسود والتأثير الكهروضوئى وظاهرة كمبتون، ودراسة تركيب الذرة والأطياف الذرية بأسلوب مبسط والعروج إلى الليزر وتطبيقاته.

٦ ـ ختم الكتاب بفصل جديد عن الإلكترونيات الحديثة عالج فيه باختصار وتبسيط أساسيات الإلكترونيات التناظرية والرقمية وآلية عمل الترانزستور والدوائر المتكاملة التى هى أساس عمل جميع النظم الإلكترونية الحديثة مثل الكمبيوتر. وتطرق إلى الاتجاهات المستقبلية فى عملية التصغير باستخدام تكنولوجيا القرن الجديد النانوتكنولوجيا.

٧ ـ يتميز الكتاب بإضافة أمثلة على التطبيقات اليومية المحسوسة توضيحًا للمفاهيم الفيزيائية من الواقع سواء فى النص أو كمعلومات إثرائية لربط النظرية بالتطبيق على أن تبقى هذه المعلومات الإثرائية غير ملزمة فى الامتحان ويظل دورها هو التشويق العلمى.

٨ ـ يحتوى الكتاب على عدد هائل من الصور المحدثة الواضحة مزيلة بتوصيف لكل صورة. كما تم إخراج الكتاب فى أربعة ألوان طبقًا للمقاييس العالمية فى الكتب المدرسية المتطورة.

٩ ـ يحتوى الكتاب على العديد من الأمثلة المحلولة والأسئلة والتمارين وكلها تقوى الإدراك لدى الطالب بالمعنى الفيزيائى والفهم العميق للمفاهيم الأساسية.

١٠ ـ ذيل الكتاب بستة ملحقات عن الرموز والأبعاد والوحدات والثوابت الفيزيائية والبادئات القياسية والحروف الأبجدية اليونانية وأسماء بعض العلماء وإنجازاتهم ومفاتيح البحث على الأنترنت وبعض المواقع وبعض المواقع الخاصة بالفيزياء.

١١ - روعى فى الكتاب أن تكون المعادلات باللغة الإنجليزية والمصطلحات باللغتين العربية والإنجليزية وجميع الوحدات المستخدمة طبقًا للنظام الدولى.

١٢ - تم عمل التجهيزات الفنية وإخراج الكتب فى المركز الاستكشافى للعلوم. المقر الرئيسى بحدائق القبة.

وفى النهاية نوجه رسالة إلى الطالب بأن يأخذ علم الفيزياء بحب لأن فهم الفيزياء هو فهم كل ما حولنا فى الحياة وكل الاختراعات التى نتعامل معها وتلك التى ستخرج إلى النور فى المستقبل القريب. ورسالة للمدرس بأن يكون تدريس الفيزياء بحب وبأسلوب مبنى على نقل المفاهيم لا تلقين الدروس مع ربط كل مفهوم بالمشاهدات اليومية ليكون التعليم مشوقًا ومفيدًا.

فقد يكون من بين هؤلاء الطلبة أمامك من سيخرج فى المستقبل القريب بإذن الله ليكون علمًا تتحدث عنه الدنيا ويتحدث هو عنك بالفضل والعرفان على أنه فى يوم من الأيام تعلم على يديك وفهم أصول العلم منك ، وإنك أنت الذى مهدت له الطريق، وكفاك بهذا فخرًا .

وقد قام المركز الاستكشافى للعلوم بالتجهيزات الفنية والإخراج الفنى لهذا الكتاب طبقًا للمواصفات العالمية للكتب الدراسية المطورة. مع مراعاة ألا يزيد عدد الأسطر فى الصفحات الواحدة عن ٢٤ سطر لإراحة العين، والإكثار من الصور المعبرة عن المادة العلمية واستخدام كود ألوان لتحديد المفاهيم الهامة والتطبيقات المختلفة والأمثلة المحلولة والاهتمام بتصميم الغلاف كعامل جذب للطالب.

لجنة إعداد منهج الفيزياء الثانوية العامة المطورة

أ.د. مصطفى كمال محمد يوسف

أ. د. محمد سامح محمد سعيد

د. مصطفى محمد السيد محمد

د. طارق محمد طلعت سلامة

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

Unité 1

Les ondes



Chapitre 1: **Le mouvement ondulatoire**

Chapitre 2: **La lumière**

Unité 1

Les ondes



Chapitre 1: Le mouvement ondulatoire

Unité 1 : Les ondes

Chapitre 1
Le mouvement ondulatoire

Introduction :

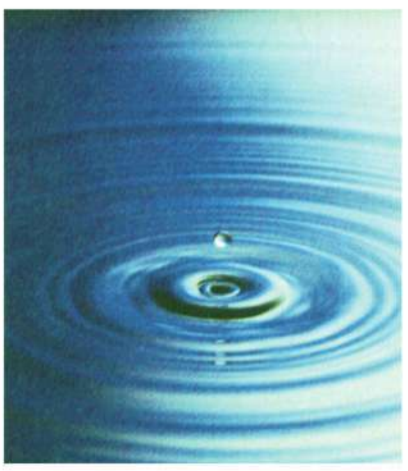


Figure (1-1)
Ondes qui se propagent à partir d'une source ponctuelle produisant une perturbation

• Certains trouvent du plaisir à observer les ondes qui se propagent à la surface de l'eau qui font jouer le flotteur de l'hameçon d'un pêcheur, ou qui font osciller une barque. D'autres préfèrent s'asseoir au bord d'un lac et jeter dans l'eau de petits cailloux qui en tombant dans celle-ci sont considérés comme sources d'une perturbation qui se propage à la surface de l'eau sous forme de cercles concentriques (figure 1-1) qu'on appelle "ondes". Une onde est une perturbation qui se propage et qui transporte de l'énergie.

• Les ondes à la surface de l'eau ne sont pas les seules ondes connues. Ainsi nous pouvons entendre en ouvrant notre poste récepteur de radio : "Ici le Caire, nous émettons sur ondes moyennes de 366,7m de longueur"...

• De même, la télévision transmet les sons et les images sous forme d'ondes qui se propagent dans l'espace et sont captées par l'antenne pour être transformées en signaux électriques puis en sons et images dans le poste récepteur.
De même le téléphone cellulaire (le portable) utilise les ondes pour transmettre le son de l'émetteur au récepteur :
Les signaux sonores se transforment en signaux électriques, puis en signaux électromagnétiques qui se propagent dans l'espace. L'antenne du récepteur reçoit ces signaux qui se transforment alors en signaux électriques puis en sons et parfois en images.

• Nous voyons les ondes à la surface de l'eau. Mais pour les ondes de radio, de télévision et celles du portable, nous les détectons seulement par leurs effets.
Les ondes à la surface de l'eau sont` des ondes mécaniques, ainsi que les ondes sonores et celles qui se propagent dans les cordes vibrantes.
Alors que les ondes de radio, de télévision et celles du portable sont des ondes électromagnétiques, ainsi que les ondes lumineuses et les rayons X (utilisés en médecine)

• Les ondes mécaniques exigent un milieu matériel pour se propager, alors que les ondes électromagnétiques n'exigent pas la présence d'un milieu matériel, car elles peuvent se propager dans le vide.

Ondes mécaniques :

• Pour obtenir une onde mécanique il faut :
  Une source vibrante ou oscillante.
  Une perturbation qui se transmet de la source au milieu
  Un milieu qui transmet la vibration.

• Les sources vibrantes sont nombreuses et variées, comme :
  Le pendule simple ou pendule de l'horloge (figure 1-2)
  Le diapason (figure 1-3)
  La corde vibrante (figure 1-4)
  Un poids suspendu à un ressort en vibration ou le yoyo (figure 1-5)

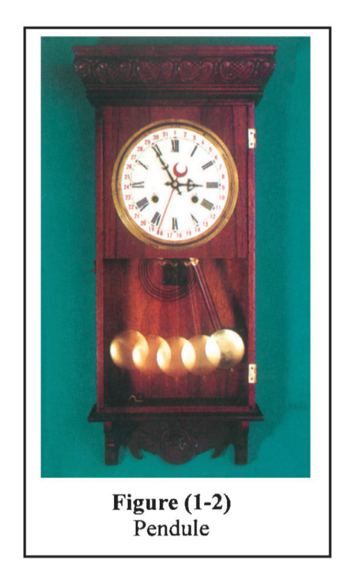


Figure (1-2)
Pendule

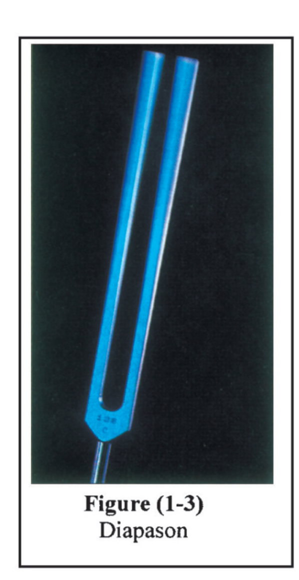


Figure (1-3)
Diapason



Figure (1-4)
Corde vibrante

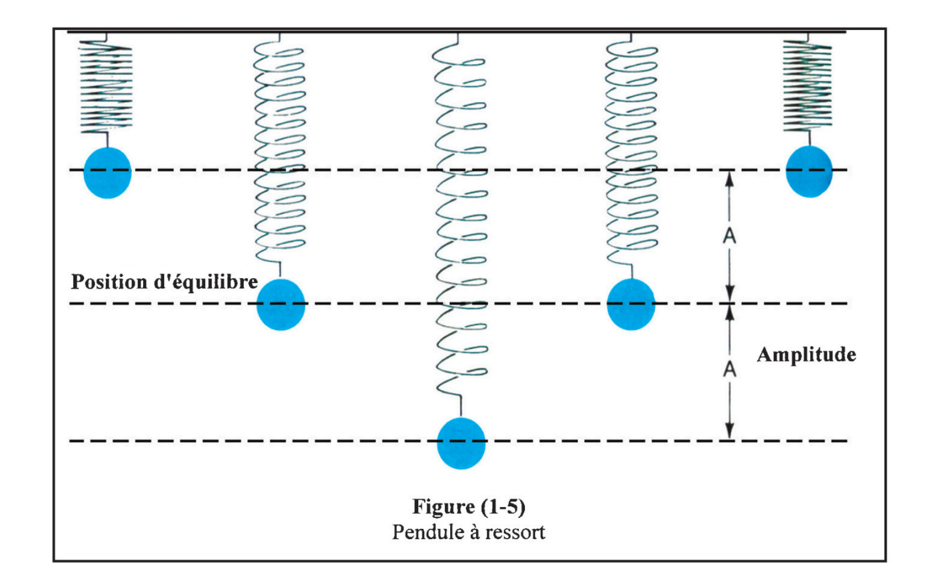


Figure (1-5)
Pendule à ressort

• Certaines grandeurs physiques essentielles sont en relation avec le mouvement vibratoire, comme le déplacement, l'amplitude, l'oscillation complète, la période et la fréquence. Ces grandeurs sont définies comme suit :

Le déplacement (mètre) :
C'est la distance entre la position du corps vibrant à un instant donné et sa position d'équilibre. C'est une grandeur vectorielle.

L'amplitude A (mètre) :
C'est le déplacement maximal à partir de la position d'équilibre. C'est aussi la distance entre deux points de sa trajectoire où dans l'un la vitesse du corps est maximale et dans l'autre elle est nulle.

L'oscillation complète :
C'est le trajet aller-retour effectué par le corps vibrant pour revenir au même point, dans le même sens, c'est à dire qu'il ait la même phase.

La fréquence ν (Hz ou hertz) :
C'est le nombre d'oscillations complètes effectuées par le corps vibrant en une seconde.

La période T (seconde) :
C'est le temps mis par le corps vibrant pour effectuer une oscillation complète.
C'est aussi le temps mis par le corps vibrant pour revenir au même point dans le même sens.

$$\nu = \frac{1}{T} \qquad (1\text{-}1)$$

Enrichissons nos connaissances

- A une fréquence déterminée, l'amplitude des vibrations mécaniques augmente fortement et échappe à tout contrôle.

Une coupe en verre se brise sous l'action d'ondes sonores produites près d'elle.

- Le pont Tacoma en Amérique a été détruit en novembre 1940 sous l'action du vent. (Figure 1-9).

- Ce phénomène est appelé la résonance. C'est la cause de l'écroulement de plusieurs constructions lorsque la fréquence des vibrations internes est égale à la fréquence naturelle ou fréquence



Figure (1-8)
Un verre brisé sous l'action d'ondes sonores

de résonance de la construction. Ceci est une résonance mécanique.

• Il existe aussi une résonance électrique qui se produit dans les postes récepteurs de radio ou de télévision afin d'amplifier le signal électrique capté par l'antenne s'il est en résonance ave c le circuit du récepteur.

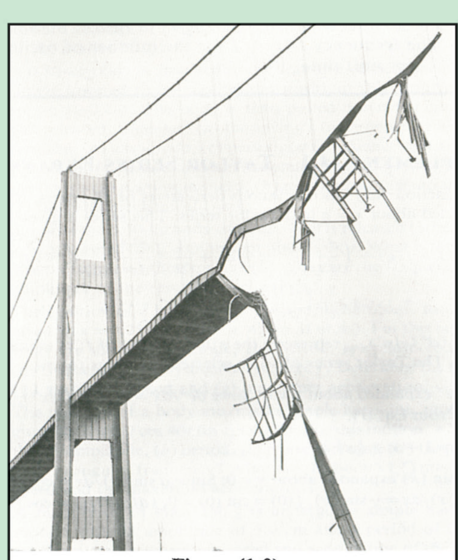
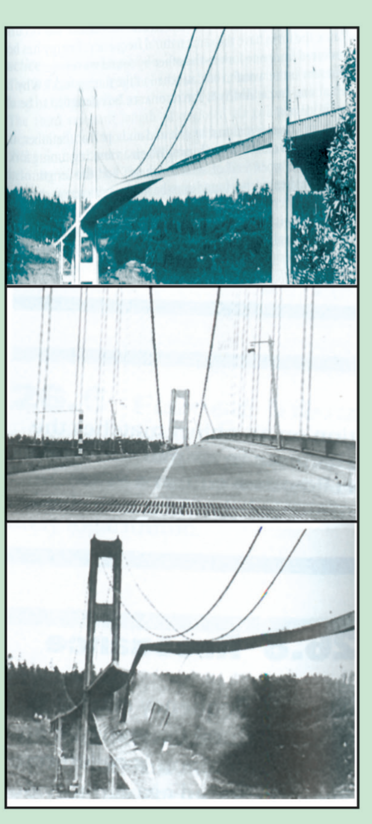


Figure (1-9)
Le pont Tacoma en Amérique a été détruit par le vent qui a causé la vibration du pont à une fréquence égale à sa fréquence naturelle engendrant ainsi une résonance.



Ondes longitudinales :

• Poson un ressort sur une table lisse horizontale. Fixons l'une des extrémités du ressort à un support vertical, et l'autre extrémité du ressort un à poids qui repose sur la table (figure 1-10).

• Tirons le poids de sorte à allonger le ressort, puis lâchons-le : il se déplace de part et d'autre de sa position d'équilibre. Ce mouvement particulier est appelé mouvement harmonique simple (MHS).

• Traçons la courbe de la relation du déplacement du centre de gravité du poids mobile avec le temps, nous obtenons une courbe sinusoïdale (figure 1-11) qui caractérise le MHS.

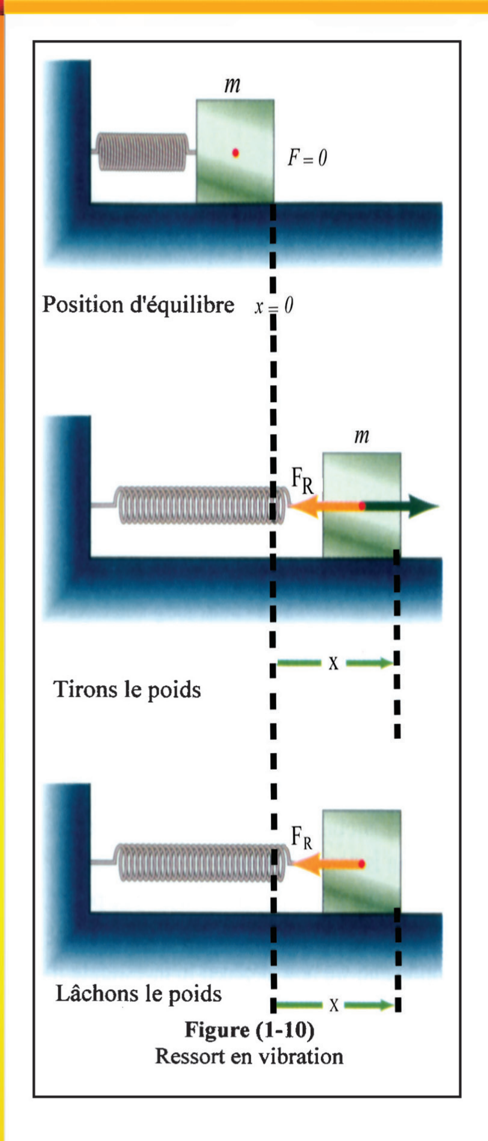


Figure (1-10)
Ressort en vibration

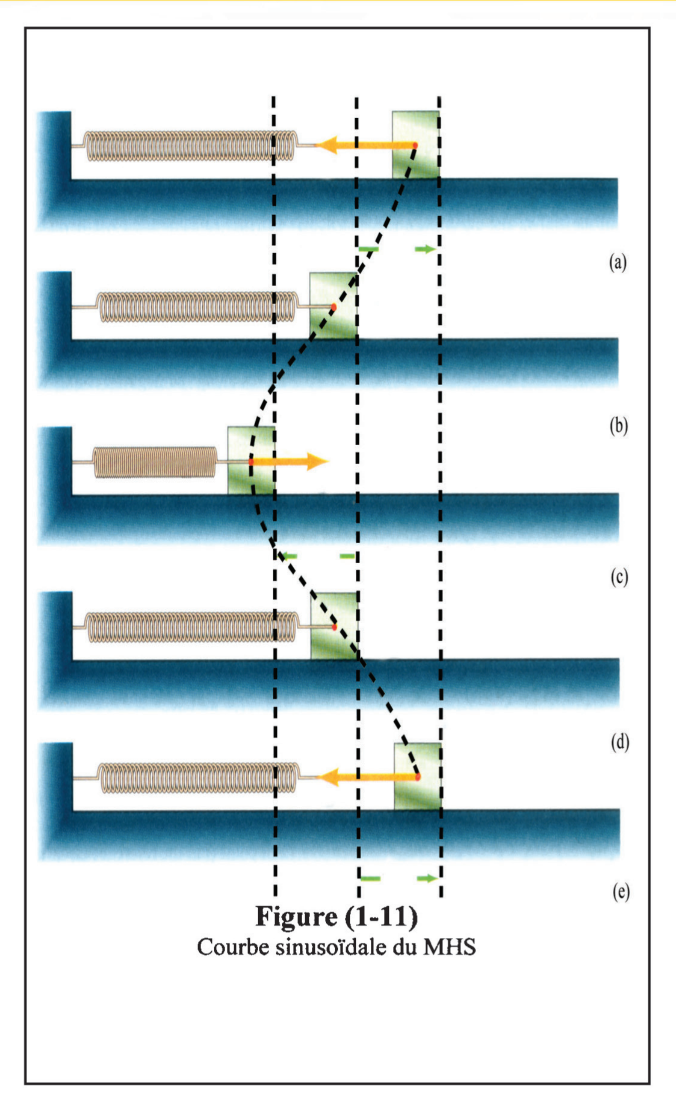


Figure (1-11)
Courbe sinusoïdale du MHS

• Considérons maintenant une masse m posée sur un plan lisse horizontal, fixée d'un côté à un ressort et de l'autre côté à un autre ressort plus long. Fixons l'autre extrémité du ressort à un mur vertical (figure 1-12a).

• Tirons la masse m vers la droite jusqu'à la position x = A dans le sens de l'axe du ressort. Une partie du ressort à la droite de A se comprime. Cette compression agit sur le ressort vers la droite et comprime successivement les spires : ainsi la compression se transmet vers la droite.

• Si ensuite la masse m se déplace vers la gauche jusqu'à la position x = - A; le ressort situé à droite s'allonge, ses spires s'éloignent, créant une dilatation. Celle-ci se propage le long du ressort vers la droite, pendant que la masse m retourne à sa position d'équilibre où x = 0.

• Cette suite de compressions et de dilatations représente une onde provenant de la vibration en MHS des particules du milieu (représenté ici par le ressort).
• Les particules du milieu vibrent dans la même direction de la propagation de l'onde. Cette onde est appelée onde longitudinale. Les compressions et les dilatations se propagent le long du ressort (figure 1-12b).

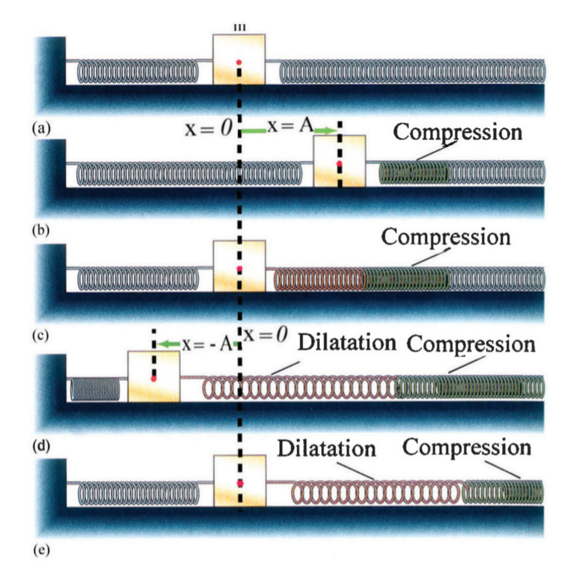


Figure (1-12a)
Compressions et dilatations dans une onde longitudinale

Figure (1-12b)
Vibration d'un ressort formant une onde longitudinale

• Une source vibrante qui effectue un MHS peut engendrer une onde qui se propage à une vitesse v, de sorte que chaque particule du milieu effectue à son tour un MHS de part et d'autre de sa position d'équilibre. Par exemple les ondes sonores qui se propagent dans l'air sont longitudinales.

Ondes transversales :

• Considérons une masse m suspendue à un ressort vertical. L'extrémité d'une corde horizontale tendue est fixée à un mur verti cal.
Lorsque m effectue un MHS dans une direction verticale, l'extrémité de la corde fixée à m effectue le même mouvement.
Ce mouvement se transmet le long de la corde et les différentes particules vibrent successivement.

• Ainsi le mouvement se transmet le long de la corde sous forme d'une onde horizontale à la vitesse v, alors que les particules de la corde font un MHS dans une direction verticale. Cette onde est appelée onde transversale (figure 1-13)

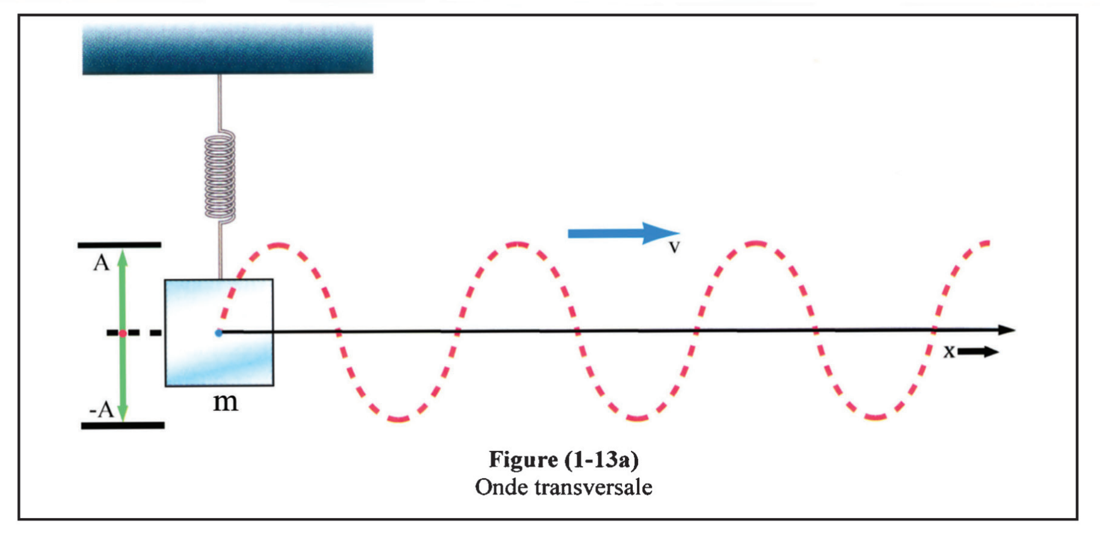


Figure (1-13a)
Onde transversale

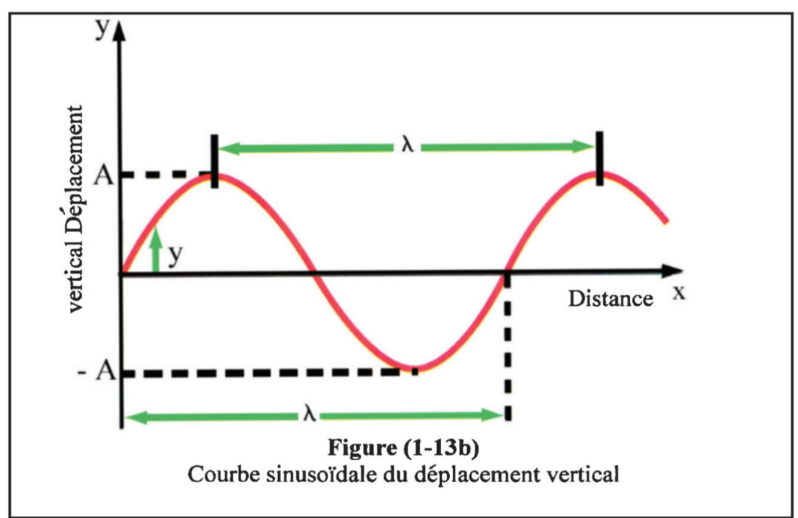


Figure (1-13b)
Courbe sinusoïdale du déplacement vertical

• On peut effectuer une telle expérience soi-même en utilisant une corde tendue ayant une extrémité fixée à un mur vertical et l'autre extrémité est tenue par la main.

• En déplaçant verticalement la main, vers le haut puis vers le bas pour créer une pulsation, on constate la propagation d'une onde le long de la corde . Cette onde est appelée “onde mobile” (figure 1-14)

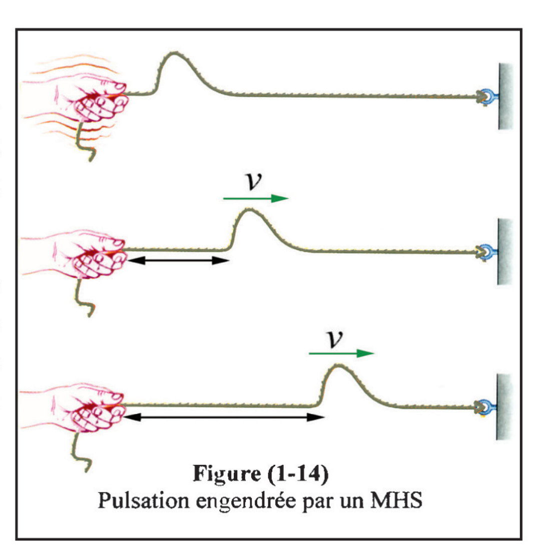


Figure (1-14)
Pulsation engendrée par un MHS

• Si le MHS est continu on obtien t un train d'ondes mobiles (figure 1-15)

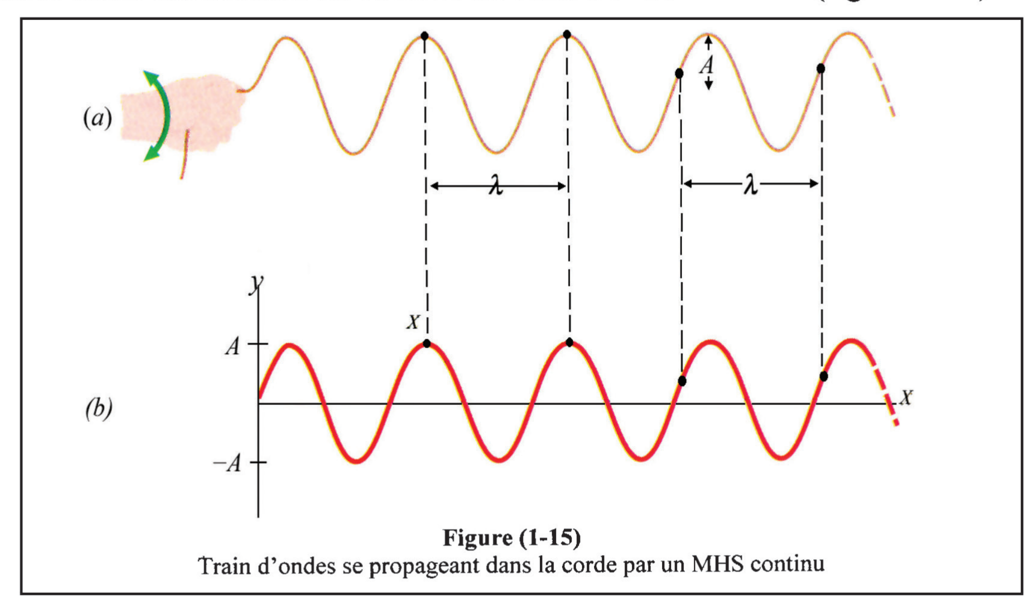


Figure (1-15)
Train d'ondes se propageant dans la corde par un MHS continu

• En remplaçant la corde tendue par un long ressort , on peut engendrer des ondes longitudinales (figure 1-16) ou des ondes transversales (figure 1-17).

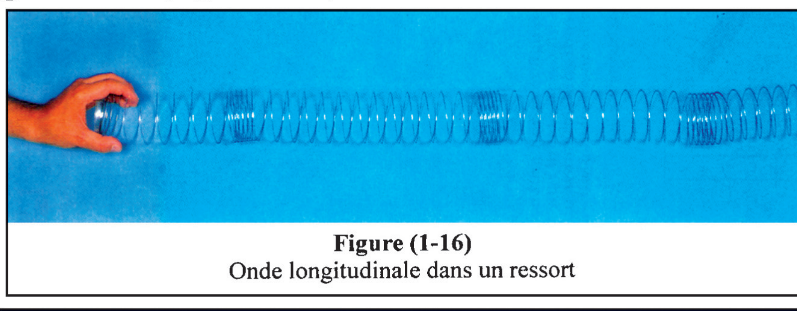


Figure (1-16)
Onde longitudinale dans un ressort

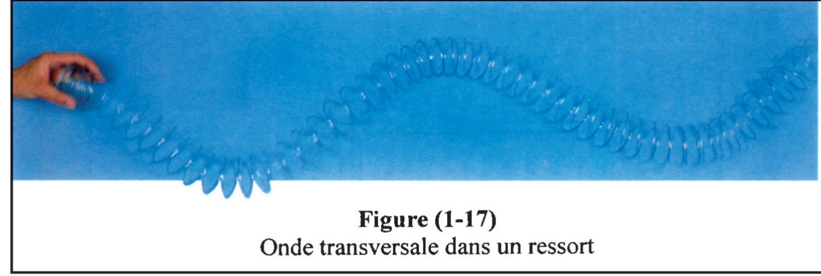


Figure (1-17)
Onde transversale dans un ressort

• Ainsi lorsqu'une source vibre, les vibrations se transmettent aux particules du milieu en contact avec la source, puis aux particules suivantes. Par suite la vibration ou la perturbation se propage sous forme d' un mouvement ondulatoire.

• De ce qui précède nous pouvons dire que : L'onde est une perturbation qui se déplace et transmet l'énergie.

Classification des ondes mécaniques :

- On peut classifier les ondes mécaniques en deux genres :

  1. Les ondes transversales
  2. Les ondes longitudinales

- Les ondes transversales sont les ondes dans lesquelles les particules du milieu vibrent autour de leur position d'équilibre dans une direction perpendiculaire au sens de la propagation de l'onde.

- Les ondes longitudinales sont les ondes dans lesquelles les particules du milieu vibrent autour de leur position d'équilibre dans la même direction que celle de la propagation de l'onde.

- Il est évident que le travail fourni par la source vibrante agissant sur une corde se transmet sous forme :
  - d'énergie potentielle représentée par la tension de la corde.
  - d'énergie cinétique représentée par la vibration de la corde.

- Considérons la figure (1-18) : Le point correspondant au déplacement positif maximal est appelé " crête", et le point correspondant au déplacement négatif maximal est appelé "creux".

- Examinons une corde en vibration, nous trouvons qu'une crête et un creux successifs sont produits pendant une oscillation complète. C'est à dire que durant une oscillation complète, l'onde transversale comprend une crête et un creux successifs.

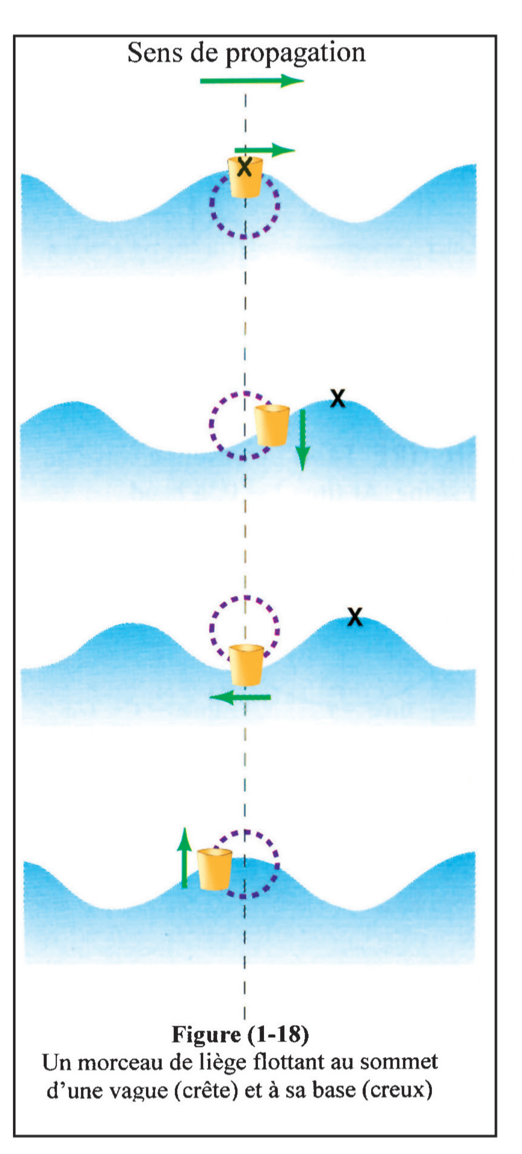


Figure (1-18)
Un morceau de liège flottant au sommet d'une vague (crête) et à sa base (creux)

Longueur d'onde λ (mètre) et fréquence ν (Hz) :

• Pour une onde transversale, la distance entre deux crêtes successives (ou deux noeuds successifs) est appelée lo ngueur d'onde (figure 1-19).

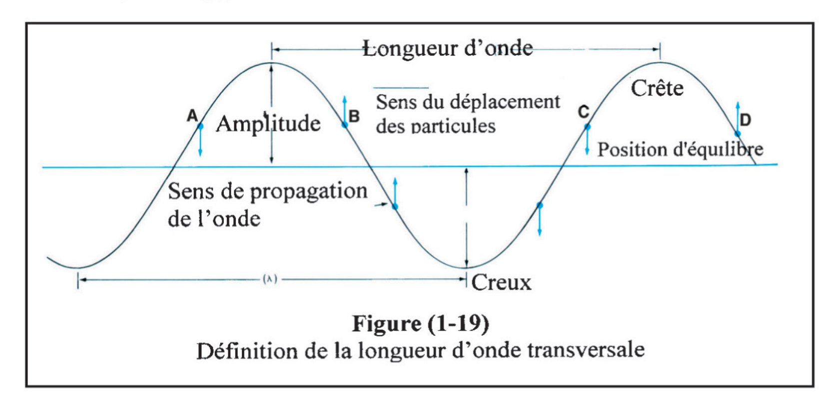


Figure (1-19)
Définition de la longueur d'onde transversale

• De même, pour une onde longitudinale, la distance entre les centres de deux compressions (ou de deux dilatations) successives est appelée lo ngueur d'onde (figure 1-20).

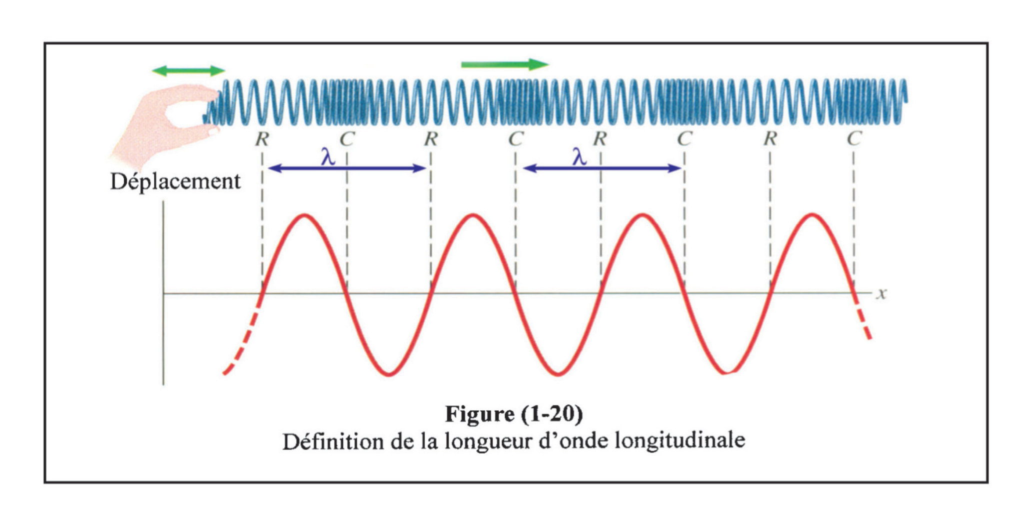


Figure (1-20)
Définition de la longueur d'onde longitudinale

• On peut ainsi représenter la longueur d'onde par la distance AC ou BD (figure 1-19). Notons que les deux points consécutifs A et C ou B et D (où se produit un même déplacement dans le même sens) sont deux points ayant la même phase.

• Donc : la longueur d'onde est la distance entre points consécutifs ayant même phase. (Figure 1-21)

• La fréquence est le nombre d'ondes qui passent par un point déterminé de leur trajectoire en une seconde. (Figure 1-22)

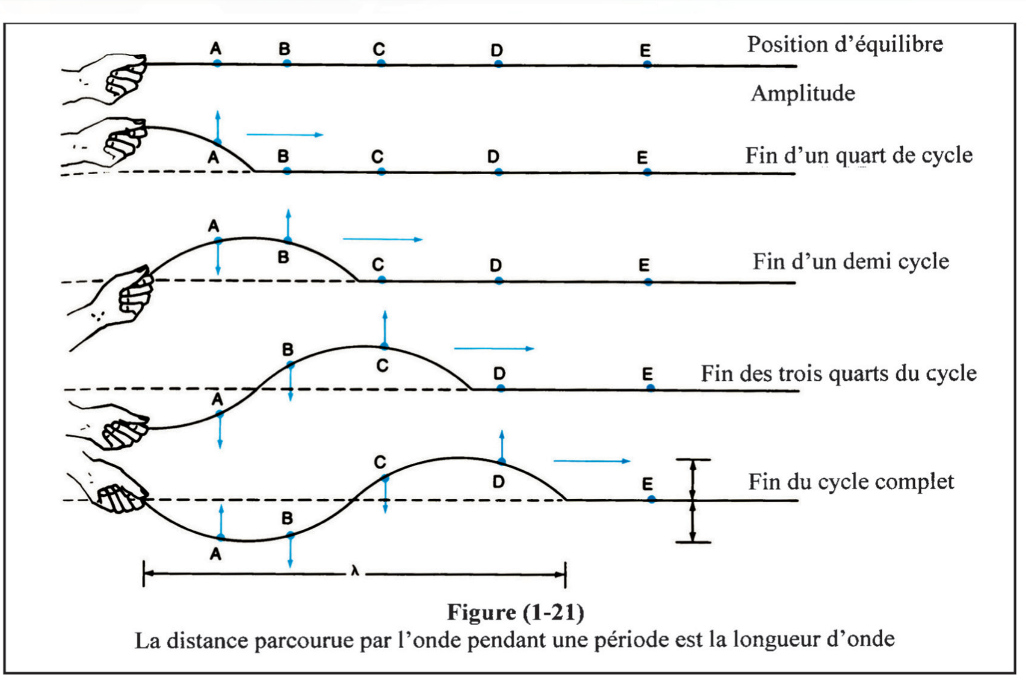


Figure (1-21)
La distance parcourue par l'onde pendant une période est la longueur d'onde

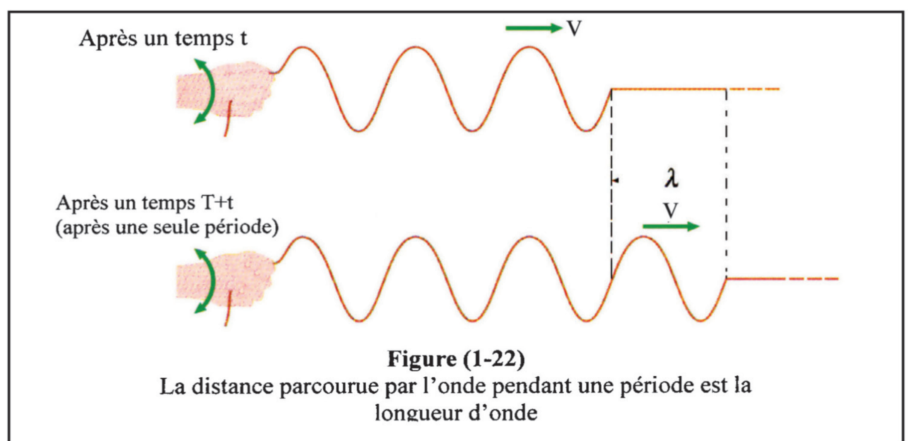


Figure (1-22)
La distance parcourue par l'onde pendant une période est la longueur d'onde

Relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de propagation d'une onde :

• Si une onde se déplace à la vitesse v d'un point à un autre situé à une distance égale à la longueur d'onde λ, alors le temps écoulé est égal à la période T.

$$\therefore \mathrm{v} = \frac{\text{distance}}{\text{temps}} = \frac{\lambda}{T}$$

mais $\nu = \frac{1}{T}$ ou $T = \frac{1}{\nu}$

Par suite $\boxed{\mathrm{v} = \lambda \nu}$ (1-2)

Remarque :

- La relation précédente s'applique aux différents genres d'ondes, que ce soit un train d'ondes (figure 1-23) ou une pulsation (figure 1-14).

- Pendant une période T, l'onde s'est déplacée d'une distance égale à la longueur d'onde.

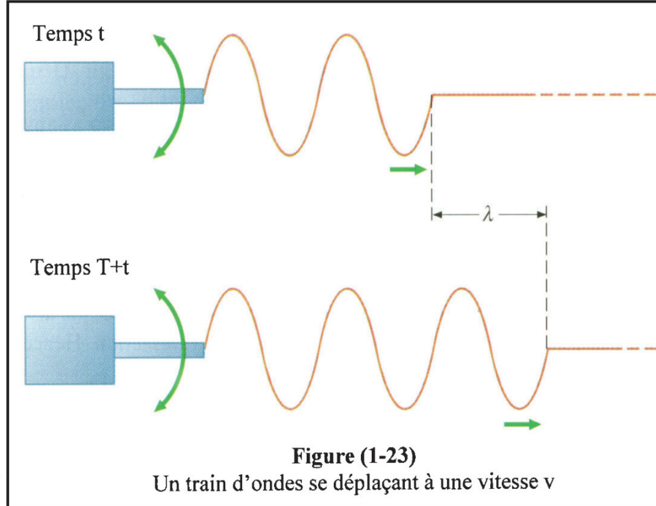


Figure (1-23)
Un train d'ondes se déplaçant à une vitesse v

- La fréquence est le nombre d'oscillations par seconde ou c'est le nombre de longueurs d'ondes parcourues par l'onde dans un sens déterminé en une seconde.

Exemples :

1. Si la longueur de l'onde sonore engendrée par un train est 0,6m et la fréquence du son émis est 550 Hz, quelle est la vitesse de propagation du son dans l'air ?

Solution :

$v = \lambda \nu$

$\therefore v = 0,6 \times 550 = 330$ m/s

2. Si le nombre d'ondes à la surface de l'eau passant par un point déterminé en une seconde est 12 et si la longueur d'une onde est 0,1m, calculer la vitesse de propagation de ces ondes.

Solution :

$v = \lambda \nu$

$\therefore v = 0,1 \times 12 = 1,2$ m/s

3. Les ondes lumineuses se propagent dans l'espace à la vitesse de 300 mille kilomètre par seconde ($3x10^8$m/s) et la longueur d'onde est 5000 Å, trouver la fréquence de cette lumière. 1Å (Angstrom) = 10^{-10} m

Solution :

$\lambda = 5 \text{ x } 10^3 \text{ x } 10^{-10} = 5 \text{ x } 10^{-7}$ m

$c = \lambda \nu$

$\therefore 3 \times 10^8 = 5 \text{ x } 10^{-7} \times \nu$

$$\nu = \frac{3\times10^8}{5\times10^{-7}} = 6\times10^{14}\text{Hz}$$

Résumé

• L'onde est une perturbation qui se déplace et qui transporte de l'énergie.

• Le déplacement : C'est la distance entre la position du corps à un instant donné et sa position d'équilibre.

• L'amplitude (A) de la vibration : C'est le déplacement maximal du corps vibrant à partir de sa position d'équilibre.
C'est la distance entre deux points où dans l'un d'eux la vitesse du corps vibrant est nulle et dans l'autre sa vitesse est maximale.

• L'oscillation complète : C'est le trajet aller-retour effectué par le corps vibrant pour revenir au même point, dans le même sens.

• La fréquence υ : C'est le nombre d'oscillations complètes effectuées par le corps vibrant en une seconde. ($\nu = \frac{1}{T}$)

• La période : C'est le temps nécessaire pour effectuer une oscillation complète. C'est aussi le temps mis par le corps vibrant pour revenir au même point dans le même sens. ($T = \frac{1}{\nu}$)

• Il existe deux genres d'ondes mécaniques : Les ondes transversales et les ondes longitudinales.

• Les ondes transversales : Les ondes transversales sont les ondes dans lesquelles les particules du milieu vibrent autour de leur position d'équilibre dans une direction perpendiculaire au sens de la propagation de l'onde.

• Les ondes longitudinales : Les ondes longitudinales sont les ondes dans lesquelles les particules du milieu vibrent autour de leur position d'équilibre dans la même direction que celle de la propagation de l'onde.

• Les ondes transversales sont formées de crêtes et de creux successifs.

• Les ondes longitudinales sont formées de compressions et de dilatations successives.

• La longueur d'onde : C'est la distance entre deux points consécutifs ayant même phase (même déplacement et même sens)

• La fréquence : C'est le nombre d'ondes passant par un point déterminé de leur trajectoire en une seconde.

• Relation entre fréquence, longueur d'onde et vitesse de propagation de l'onde :
$v = \lambda \nu$

...

....

ntre la fréquence, la longu

plus correcte :

esse v, la fréquence υ et la

b) $v = \frac{\nu}{\lambda}$

d) pas de répo

s sont formées de

tions

Questions et exercices

4- Si un son de fréquence 225 Hz se propage dans l'air à la vitesse de 340m/s, sa longueur d'onde en mètre est :

a) $\frac{4}{3}$ b) $\frac{3}{4}$ c) 20 d) $\frac{3}{2}$

5- Une lumière dont la longueur d'onde est 6000 Å (1 angström $=10^{-10}$ m) se propage dans l'espace à la vitesse de 300×10^3 km/s, sa fréquence est :

a) 4×10^{10} Hz b) 4×10^{14} Hz c) 5×10^{14} Hz d) 5×10^{12} Hz

6- Deux ondes de fréquences 512 Hz et 256 Hz se propagent dans un certain milieu. Le rapport de leurs longueurs d'onde est respectivement

a) $\frac{2}{1}$ b) $\frac{1}{2}$ c) $\frac{3}{1}$ d) $\frac{1}{3}$

Unité 1

Les ondes



Chapitre 2 : La lumière

Chapitre 3

La lumière

Introduction :

• La lumière est une forme d'énergie indispensable à l'homme. Le soleil est l'une des sources naturelles d'énergie qui est principalement formée de lumière et de chaleur.

• Sans le soleil, les plantes ne pourraient pas effectuer la photosynthèse et ainsi les animaux et l'homme ne trouveraient pas leur nourriture.

• Nous avons vu que le son a une nature ondulatoire et qu'il se propage sous forme d'ondes mécaniques.

• De même, la lumière possède une nature ondulatoire. Elle est soumise aux phénomènes de la réflexion, la réfraction, l'interférence et la diffraction.

• Mais la lumière est différente du son car elle n'exige pas la présence d'un milieu matériel pour se propager.

• La lumière fait partie d'un ensemble d'ondes appelé ondes électromagnétiques qui se propagent à vitesse constante dans le vide qui est égale à 3×10^8 m/s.

• Les propriétés des ondes électromagnétiques diffèrent selon leur fréquence. Leur ensemble est appelé le spectre électromagnétique (figure 2-1). Ce sont des ondes transversales.

• Parmi les ondes électro magnétiques nous pouvons citer les ondes de radio, les rayons infrarouges, le spectre de la lumière visible, les rayons ultraviolets, les rayons X et les radiations γ.

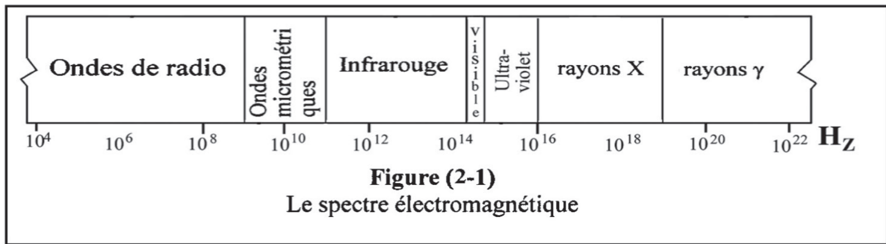


Figure (2-1)
Le spectre électromagnétique

• Une onde électromagnétique est formée de deux champs oscillants, l'un électrique et l'autre magnétique, en phase, de même fréquence, perpendiculaires l'un à l'autre et perpendiculaires au sens de leur propagation (figure 2-2).

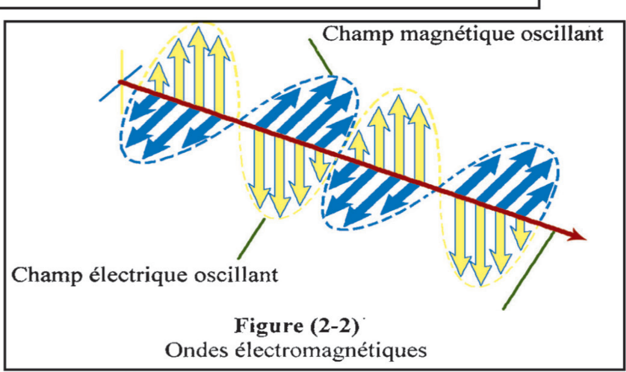


Figure (2-2)
Ondes électromagnétiques

Réflexion et réfraction de la lumière :

• La lumière se propage en ligne droite dans toutes les directions tant qu'elle ne rencontre pas un obstacle. Si elle rencontre un obstacle, elle subit la réflexion, la réfraction ou l'absorption selon la nature de l'obstacle qu'elle rencontre.

• Lorsqu'un rayon lumineux est incident sur un dioptre (surface de séparation entre deux milieux transparents mais de refringence difference (optiquement différents), une partie de la lumière se réfléchit, et le reste se réfracte (en négligeant la partie absorbée).

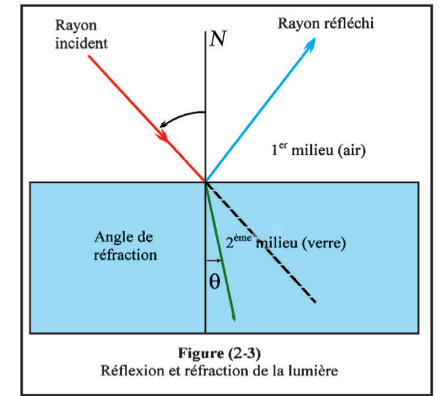


Figure (2-3)
Réflexion et réfraction de la lumière

• Observons la figure (2-3), nous trouvons que :

1- Le rayon incident, le rayon réfléchi, le rayon réfracté et la normale au point d'incidence sont tous dans un même plan perpendiculaire à la surface de séparation.

2- a- Dans le cas de la réflexion :

l'angle d'incidence = l'angle de réflexion .

b- Dans le cas de la réfraction :

le rapport du sinus de l'angle d'incidence φ au sinus de l'angle de réfraction θ est égal au rapport de la vitesse de la lumière dans le premier milieu à sa vitesse dans le deuxième. Ce rapport est constant pour les deux milieux. On l'appelle indice de réfraction relatif du premier milieu au deuxième $_1n_2$. C.à.d. :.

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \theta} = \frac{v_1}{v_2} = {}_1n_2 \qquad (2\text{-}1)$$

Vitesse de la lumière :

1- La vitesse de la lumière dans le vide est une constante universelle. Sa valeur est 3×10^8 m/s. La vitesse de la lumière dans le vide est supérieure à sa vitesse dans tout milieu matériel. Si c est la vitesse de la lumière dans le vide et v sa vitesse dans le milieu matériel ; le rapport $\frac{c}{v}$ est appelé l'indice de réfraction absolu n de ce milieu

$$n = \frac{c}{v} \qquad (2\text{-}2)$$

milieu matériel	indice
air	1,002930
eau	1,333000
essence	1,501000
tétrachlorure de carbone	1,461000
alcool éthylique	1,361000
verre coronal	1,520000
verre de roche	1,660000
quartz	1,485000
diamant	2,419000

2- De la relation (2-2), nous avons :

$$v = \frac{c}{n}$$

Par suite $\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 2

$$\therefore\ {}_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} \qquad (2\text{-}3)$$

Remplaçons (2-3) dans (2-1) :

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\varphi}{\sin\theta} \quad \text{d'où} \quad \boxed{n_1 \sin\varphi = n_2 \sin\theta} \qquad (2\text{-}4)$$

Cette relation est appelée " loi de Snell "

C'est à dire que le produit de l'indice de réfraction du premier milieu par le sinus de l'angle d'incidence est égal au produit de l'indice de réfraction du deuxième milieu par le sinus de l'angle de réfraction.

3- On peut utiliser la réfraction pour analyser un faisceau lumineux en ses composantes dont les longueurs d'ondes sont différentes, car l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde. Ainsi la lumière blanche est dispersée en ses composantes. On peut observer cette dispersion dans les bulles de savon.

Enrichissons nos connaissances :

Si un rayon lumineux passe d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent, le rayon réfracté se rapproche de la normale.
Ce phénomène est semblable à celui d'une voiture dont l'une des roues a pénétré dans la boue ce qui diminue sa vitesse alors que l'autre roue est plus rapide . (Figure 2 -4)
L'inverse se produit lorsque le rayon lumineux passe d'un milieu plus réfringent à un autre moins réfringent ; le rayon réfracté s'écarte de la normale. (Figure 2-5)

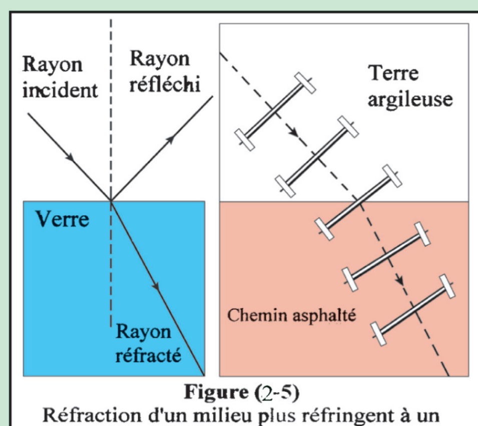


Figure (2-5)
Réfraction d'un milieu plus réfringent à un autre moins réfringent

Rayon incident
Rayon réfléchi
Chemin asphalté
Verre
Rayon réfracté
Terre argileuse

Figure (2-4)
Réfraction d'un milieu moins réfringent à un autre plus réfringent

Exemples :

1. Un rayon lumineux est incident avec un angle de 30^0 sur la surface d'un bloc de verre dont l'indice de réfraction est 1,5. Trouver l'angle de réfraction.

Solution

$$\because \ n = \frac{\sin\varphi}{\sin\theta}$$

$$1,5 = \frac{\sin 30}{\sin\theta}$$

$$\therefore \sin\theta = \frac{0,5}{1,5} = 0,333$$

D'où $\theta = 19° \ 28'$

2. Si l'indice absolu de l'eau est $\frac{4}{3}$ et celui du verre est $\frac{3}{2}$, calculer :

a) l'indice relatif de l'eau au verre
b) l'indice relatif du verre à l'eau

Solution

a) $_{eau}n_{verre} = \frac{n_{verre}}{n_{eau}} = \frac{3/2}{4/3} = \frac{9}{8}$

b) $_{verre}n_{eau} = \frac{n_{eau}}{n_{verre}} = \frac{4/3}{3/2} = \frac{8}{9}$

Cet exemple montre que $\boxed{_1n_2 = \frac{1}{_2n_1}}$

Interférence de la lumière :

Thomas Young a effectué une expérience appelée l'expérience des fentes de Young pour étudier le phénomène d e l'interférence lumineuse.
La figure (2-6) illustre cette expérience :

Une source monochromatique (d'une seule longueur d'onde) est placée à une distance convenable d'un écran opaque possédant une ouverture rectangulaire étroite S.

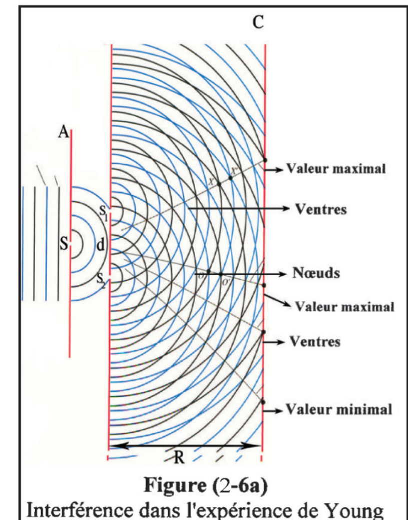
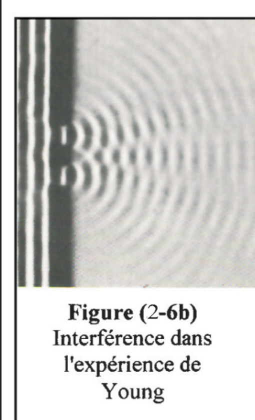


Figure (2-6a)
Interférence dans l'expérience de Young


Figure (2-6b)
Interférence dans l'expérience de Young

• Un pinceau étroit d'ondes cylindriques sortant de S se dirige vers un autre écran opaque possédant deux autres fentes étroites S_1 et S_2 qui se trouv ent sur le même front de l'onde venant de S, afin que les ondes qui arrivent à S_1 et S_2 soient en phase.

• Ainsi S_1 et S_2 sont considérées des sources cohérentes, c'est-à-dire des sources qui émettent des ondes de même fréquence, de même amplitude et en phase.

• Les ondes sortant de S_1 et S_2 sont reçues par l'écran C et interférent ensemble.

• Sur l'écran C apparaissent les franges d'interférence : ce sont des bandes éclairées alternant avec des bandes obscures. (figure 2-7)

La distance Δy entre deux franges consécutives de même nature se détermine par la relation :

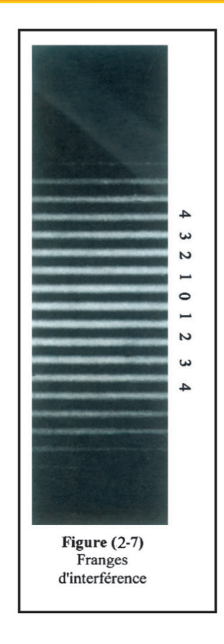


Figure (2-7) Franges d'interférence

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d} \qquad (2\text{-}5)$$

où λ est la longueur de l'onde monochromatique, R est la distance entre les fentes doubles et l'écran final et d est la distance entre S_1 et S_2

Remarque : cette expérience est utilisée pour déterminer la longueur d'onde d'une lumière monochromatique.

Enrichissons nos connaissances :

Si la lumière n'était pas constituée d'ondes qui interfèrent, on aurait obtenu les franges comme dans la figure (2-8b). On peut interpréter la formation des franges d'interférence constructives et destructives comme suit :

• Si la distance R entre les fentes et l'écran est relativement grande par rapport à la distance d qui sépare les deux fentes, les deux rayons r_1 et r_2 peuvent être considérés parallèles figure (2-9).

• Si θ est l'angle d'inclinaison des rayons r_1 et r_2 alors Δr est la différence de marche entre eux. Comme l'indique lafiqure (2-9) Cette différence peut être calculée par la relation : $\Delta r = d \sin\theta$ où d est la distance entre les deux fentes.

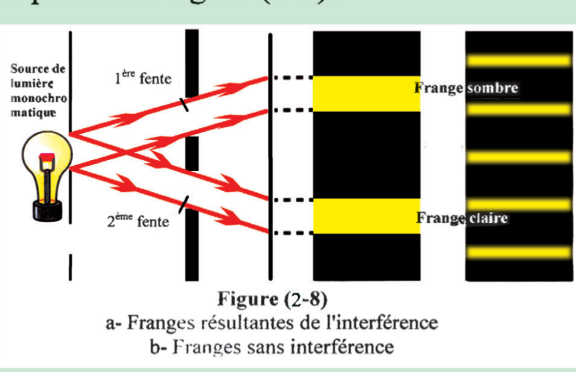


Figure (2-8)
a- Franges résultantes de l'interférence
b- Franges sans interférence

• Si cette différence Δr est un multiple entier m de longueurs d'ondes ;

$\Delta r = d \sin\theta = m\lambda$

Par suite le point de rencontre de ces rayons sur l'écran forme une frange éclairée lorsque :

$$\sin\theta = \frac{m\lambda}{d} = \frac{y}{R}$$

$$\therefore y = m\frac{\lambda R}{d}$$

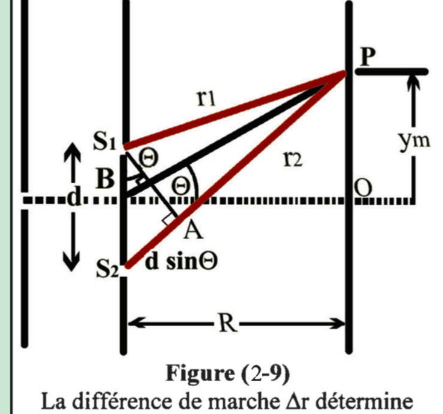


Figure (2-9)
La différence de marche Δr détermine la nature de la frange

• Mais si la différence de marche entre les deux rayons r_1 et r_2 est égale à $(m + \frac{1}{2})\lambda$, alors

$$\Delta r = d \sin\theta = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

Par suite le point de rencontre de ces rayons sur l'écran forme une frange obscure lorsque :

$$\sin\theta = \frac{(m + \frac{1}{2})\lambda}{d} = \frac{y}{R}$$

$$\therefore y = (m + \frac{1}{2})\frac{\lambda R}{d}$$

• Ainsi se succèdent les franges éclairées et les franges obscures sur l'écran selon la diffé rence de marche entre les deux rayons r_1 et r_2 (figure 2-10).

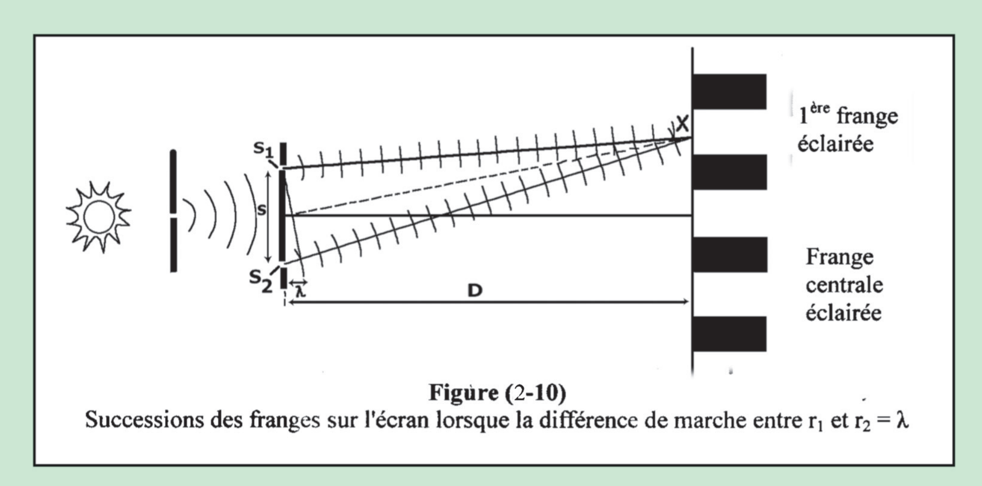


Figure (2-10)
Successions des franges sur l'écran lorsque la différence de marche entre r_1 et $r_2 = \lambda$

• La valeur de m pour la frange éclairée ou pour la frange obscure est appelée le rang de la frange (figure 2-11).

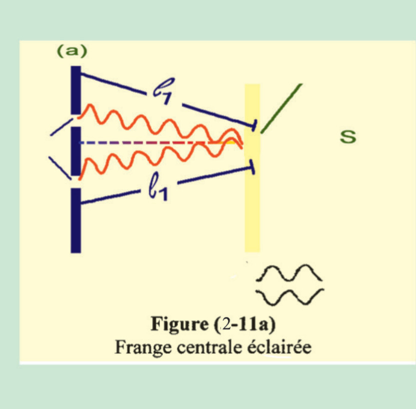


Figure (2-11a)
Frange centrale éclairée

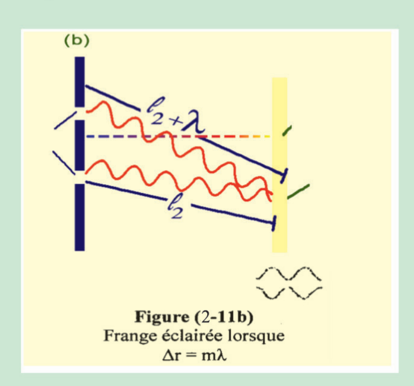


Figure (2-11b)
Frange éclairée lorsque
$\Delta r = m\lambda$

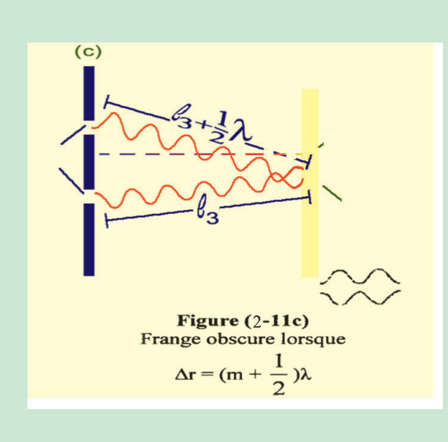


Figure (2-11c)
Frange obscure lorsque
$\Delta r = (m + \frac{1}{2})\lambda$

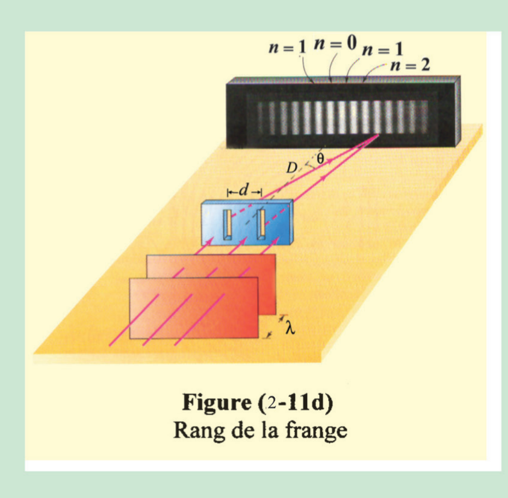


Figure (2-11d)
Rang de la frange

Exemple

Dans l'expérience des fentes de Young, la distance séparant les deux fentes est 0,00015m et la distance entre les fentes et l'écran est 0,75m. Si la distance entre deux fentes éclairées consécutives est 0,003m, trouver la longueur d'onde de la lumière monochromatique utilisée.

Solution

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

$$\therefore 0{,}003 = \frac{0{,}75 \times \lambda}{0{,}00015}$$

$$\therefore \lambda = \frac{0{,}00015 \times 0{,}003}{0{,}75} = 0{,}6 \text{x} 10^{-6}\,\text{m} = 6000\ \text{Å}$$

Diffraction de la lumière :

• Lorsqu'une lumière monochromatique traverse une ouverture circulaire dans un écran, on s'attend à obtenir une tache lumineuse circ ulaire sur un autre écran, car la lumière se propage en ligne droite. Cependant, en étudiant de près cette tache (appelée disque d'Airy), nous constatons la présence de franges claires et obscures (figure 2-12).

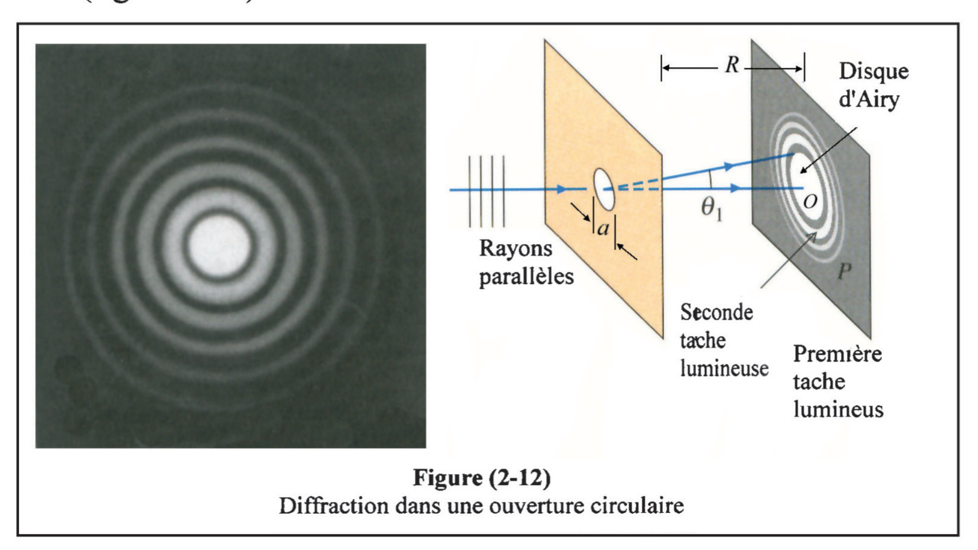


Figure (2-12)
Diffraction dans une ouverture circulaire

• La figure (2-13) montre la diffraction à travers une ouverture rectangulaire. La figure (2-14) donne des modèles de diffraction au bord d'obstacles.

• En général la diffraction apparaît nettement lorsque la longueur d'onde est supérieure aux dimensions de l'ouverture (figure 2-15).

• Notons qu'il n'y a pas de différence essentielle entre l'interférence et la diffraction, ca r les deux phénomènes proviennent de la superposition des ondes (figure 2-16).

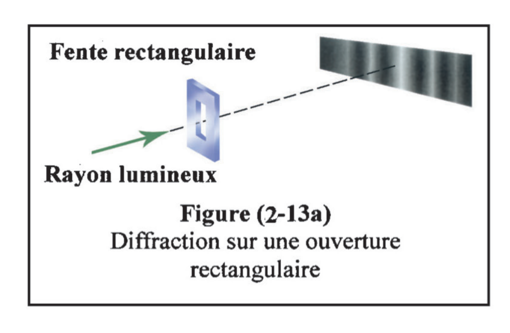


Figure (2-13a)
Diffraction sur une ouverture rectangulaire

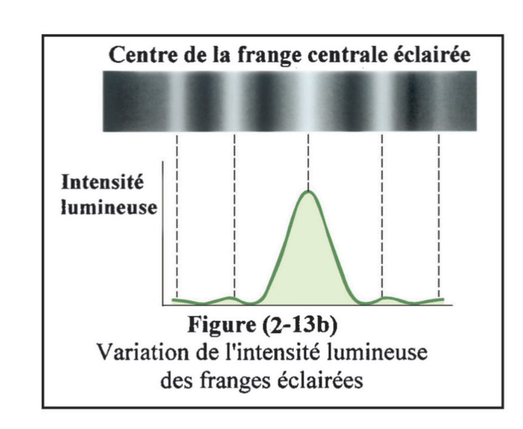


Figure (2-13b)
Variation de l'intensité lumineuse des franges éclairées

a- Bord d'un obstacle plan



d- Bord d'une boule solide

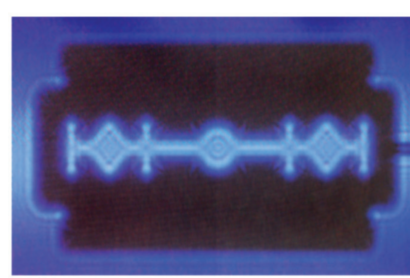
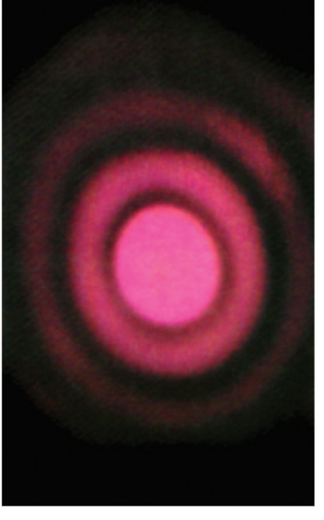
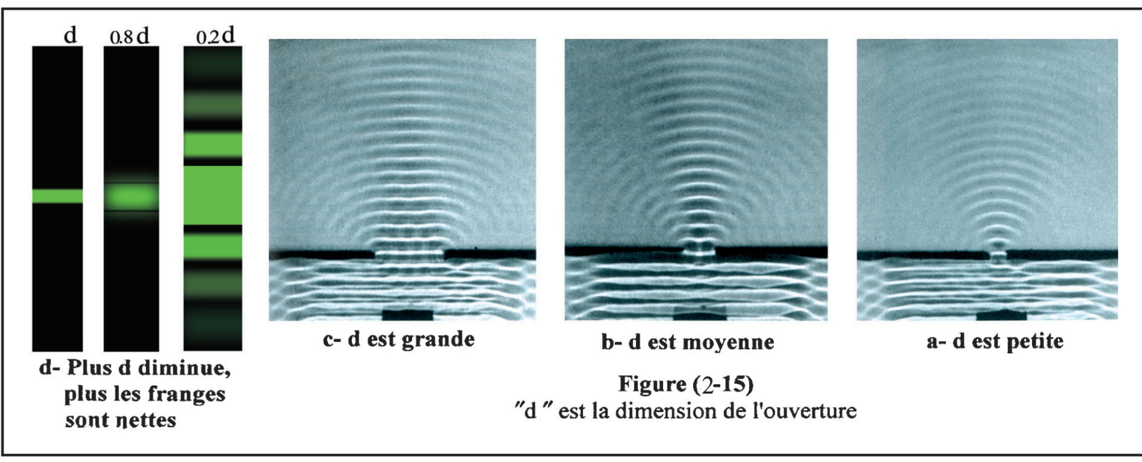


Figure (2-14)



b- Bord d'une ouverture circulaire



c- d est grande

b- d est moyenne

a- d est petite

d- Plus d diminue, plus les franges sont nettes

Figure (2-15)
″d ″ est la dimension de l'ouverture

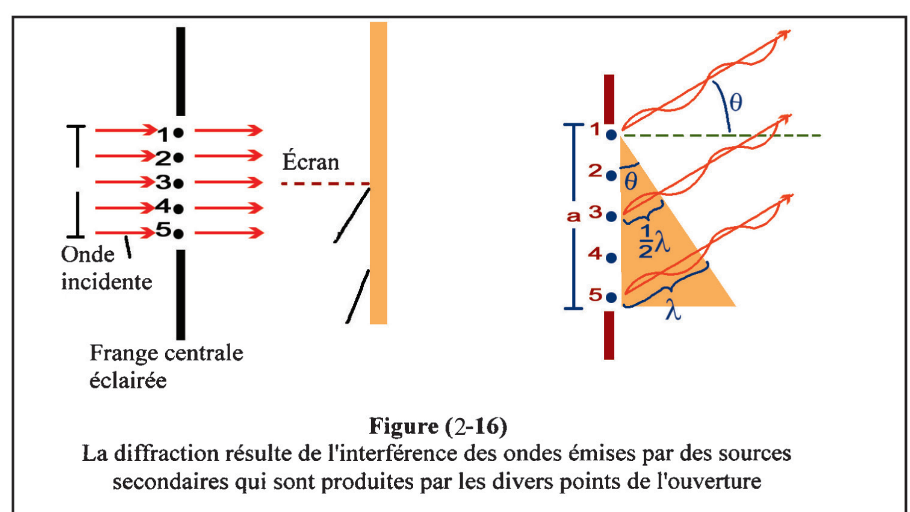


Figure (2-16)
La diffraction résulte de l'interférence des ondes émises par des sources secondaires qui sont produites par les divers points de l'ouverture

Enrichissons nos connaissances :

- Pour interpréter le phénomène de la diffraction (franges éclairées alternées avec des franges obscures), considérons une onde plane (figure 2-17) traversant une ouverture rectangulaire située dans un écran opaque. Devant celui-ci et à une grande distance est placé un écran blanc.
- Selon la théorie ondulatoire les points du front de l'onde aux bords de la fente sont considérés comme sources d'ondelettes secondaires.
- La lumière émise par ces ondelettes arrive, sous forme d'un faisceau de rayons parallèles, sur l'écran blanc en un point aligné avec le centre de la fente.
- La lentille concentre ces rayons en un point P bien déterminé sur l'écran. Ces rayons étant tous en phase, l'interférence est constructive, ce qui donne une frange éclairée (figure 2-17a).

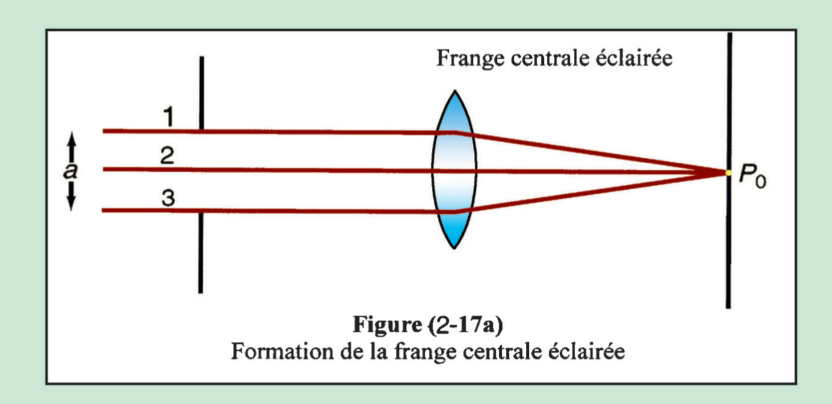


Figure (2-17a)
Formation de la frange centrale éclairée

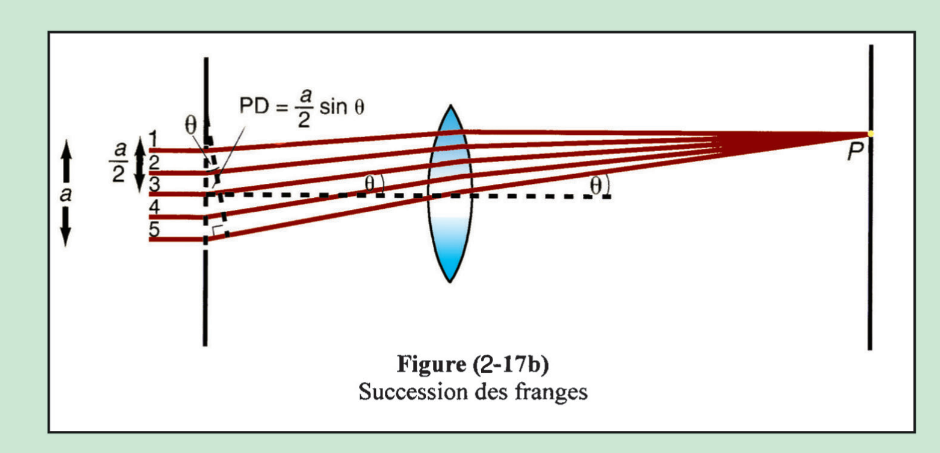


Figure (2-17b)
Succession des franges

• Lorsque le faisceau lumineux des ondelettes arrive à l'écran en formant un angle θ avec la ligne centrale (figure 2-17b), les rayons lumineux interfèrent.

• Lorsque la différence de marche entre le rayon venant de la moitié de l'extrémité supérieure de la fente et le rayon venant de la moitié de l'extrémité inférieure de la fente, est un multiple entier de λ, on obtient une interférence destructive.

• Lorsque cette différence est un multiple impair de $\frac{\lambda}{2}$, on obtient une in terférence constructive. (figure 2-18)

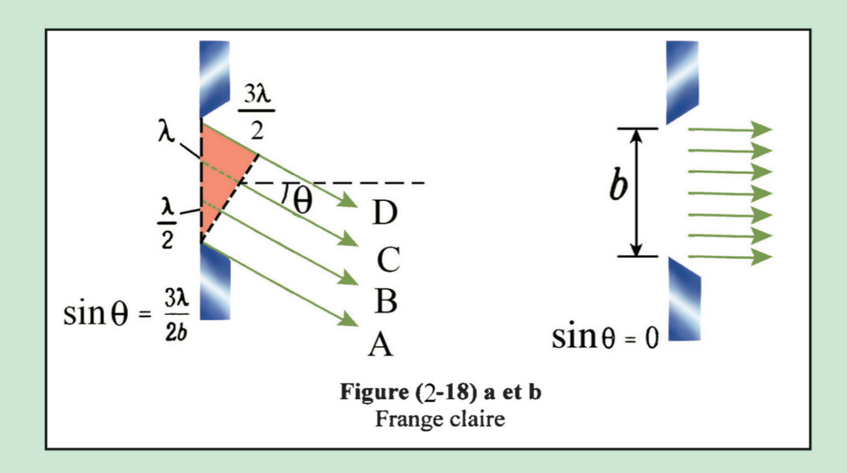


Figure (2-18) a et b
Frange claire

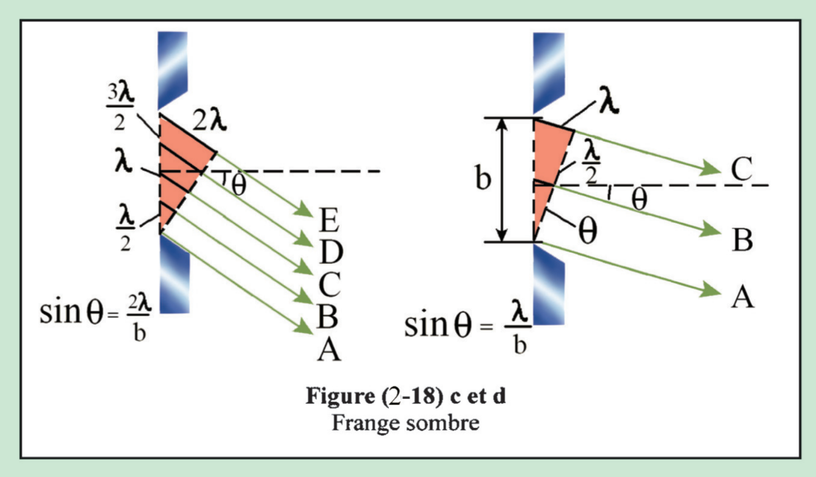


Figure (2-18) c et d
Frange sombre

Enrichissons nos connaissances :
Le pouvoir de résolution

- La diffraction engendre une limite au pouvoir de résolution.

Si deux sources lumineuses ponctuelles émettent de la lumière vers une ouverture circulaire ; chaque source produit une frange indépendante de l'autre.

- Lorsque la distance entre les deux sources diminue, les franges se rapprochent et il est difficile de les distinguer.
- On a calculé que l'angle $\Delta\theta$ entre les centres des deux franges est donné par la relation $\Delta\theta = \frac{\lambda}{D}$, D étant le diamètre de l'ouverture.
- C'est-à-dire que le pouvoir de distinction entre deux points (pouvoir de résolution) est inversement proportionnel à la longueur d'onde.
- Par suite, dans le cas du microscope, la lentille (représentant l'ouverture) et la longueur d'onde engendrent des limites de distinction des très petits corpuscules et de leurs détails.

Lorsque λ diminu e, des détails de plus en plus petits deviennent visibles. Ceci est l'un des avantages du microscope électronique.

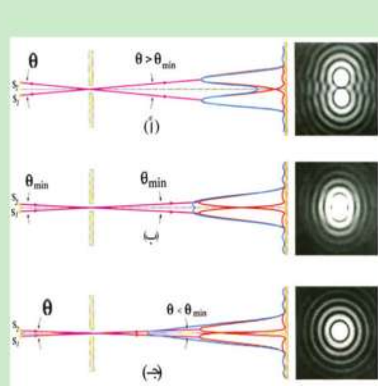


d- Bactérie visible avec le microscope électronique mais qui ne peut pas être examinée avec un microscope optique

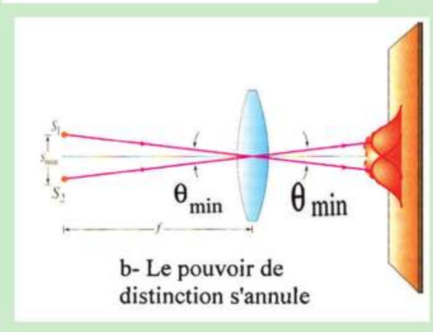




c- Deux sources s'écartent graduellement jusqu'à les distinguer



a- Plus la distance entre les deux sources diminue, plus le pouvoir de distinction diminue



b- Le pouvoir de distinction s'annule

Figure (2-19)
Pouvoir de résolution

La lumière est un mouvement ondulatoire :

L'étude précédente démontre que la lumière :

1. Se propage en lignes droites.
2- Subit la réflexion selon les lois de la réflexion.
3- Subit la réfraction selon les lois de la réfraction.
4- Interfère, ce qui engendre des franges éclairées lorsque l'interférence est constructive et des franges sombres lorsque l'interférence est destructive.
5- Se diffracte lorsqu'elle rencontre un obstacle.

Ces propriétés étant les mêmes que celles des ondes, la lumière est donc un mouvement ondulatoire.

Réflexion totale et angle limite :

• Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu plus réfringent (comme l'eau ou le verre) à un milieu moins réfringent (comme l'air), le rayon réfracté s'éloigne de la normale (figure 2-20).

• En augmentant l'angle d'incidence, l'angle de réfraction augmente lui aussi.

• Lorsque l'angle d'incidence atteint une valeur déterminée φ_C, l'angle de réfraction arrive à sa valeur maximale (90°). Dans ce cas, le rayon réfracté est parallèle au dioptre (surface de séparation). L'angle d'incidence dans ce cas est appelé angle limite φ_C.

L'angle limite est l'angle d'incidence dans le milieu le plus réfringent auquel correspond un angle de réfraction de 90° dans le milieu le moins réfringent.

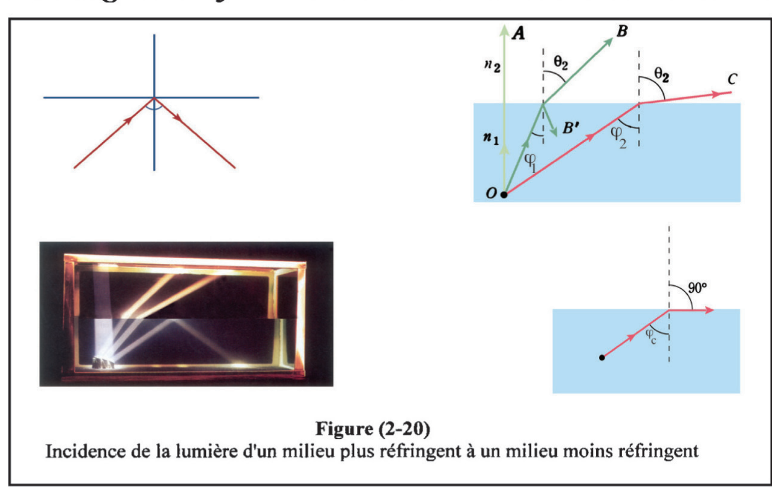


Figure (2-20)
Incidence de la lumière d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent

• Appliquons la loi de Snell dans ce cas :

$$n_1 \sin \varphi_C = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\therefore \quad \boxed{\sin \varphi_C = \frac{n_2}{n_1} = {}_1n_2} \qquad (2\text{-}6)$$

où n_1 est l'indice de réfraction du milieu le plus réfringent, n_2 l'indice de réfraction du milieu le moins réfringent et ϕ_c est l'angle limite.

où n_1 est l'indice de réfraction du milieu le plus réfringent, n_2 l'indice de réfraction du milieu le moins réfringent et ϕ_c est l'angle limite.

- Si le milieu le moins réfringent est l'air ; $n_2 = 1$ et la formule précédente devient :

$n_1 \sin \varphi_C = 1$

$$\text{D'où} \quad \boxed{\sin \varphi_C = \frac{1}{n_1}} \qquad (2\text{-}7)$$

On peut ainsi déterminer l'indice de réfraction absolu d'un milieu connaissant son angle limite.

- Si l'angle d'incidence dans le milieu le plus réfringent dépasse l'angle limite ; le rayon lumineux ne passe pas à l'autre milieu mais il subit la réflexion totale, contrairement à tout angle d'incidence inférieur à l'angle limite, car dans ce dernier cas, une partie de la lumière traverse le dioptre et une partie se réfléchit (figure 2-20 c,d).

Exemples :

1. Si les indices de réfraction du verre et de l'eau sont respectivement 1,6 et 1,33, calculer l'angle limite pour chacun de ces deux milieux.

Solution

Pour le verre : $\sin \varphi_C = \dfrac{1}{n}$

$$\therefore \sin \varphi_C = \frac{1}{1{,}6} = 0{,}625$$

D'où $\varphi_C = 38^0 41'$

Pour l'eau : $\sin \varphi_C = \dfrac{1}{n}$

$$\therefore \sin \varphi_C = \frac{1}{1{,}33} = 0{,}7518$$

D'où $\varphi_C = 48^0 45'$

2. Utilisant les données de l'exemple précédent, calculer l'angle limite pour un rayon lumineux passant du verre à l'eau.

Solution

Utilisant la loi de Snell.

$$n_1 \sin \varphi_C = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\therefore 1{,}66 \times \sin \varphi_C = 1{,}33 \text{x} 1$$

$$\therefore \quad \sin \varphi_C = \frac{1{,}33}{1{,}6} = 0{,}8313$$

D'où $\varphi_C = 56^\circ\ 14'$

Applications de la réflexion totale :

1- fibres optiques :

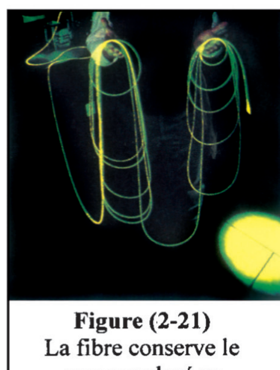


Figure (2-21)
La fibre conserve le rayon malgré sa courbure

La figure (2-21) montre une fibr e optique qui est une fibre mince et souple formée d'une matière transparente. Si un rayon lumineux pénètre par l'une de ses extrémités, il subit de multiples réflexions totales (car l'angle d'incidence est supérieur à l'angle limite) et il finira par sortir de l'autre extrémité (figure 2-22).

• La figure (2-23) montre un faisceau composé de milliers de fibre s souples faciles à plier, pouvant parvenir à des endroits difficilement accessibles. On les utilise pour transporter la lumière sans perte sensible.

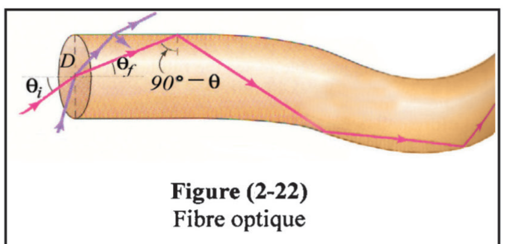


Figure (2-22)
Fibre optique

• Les fibres optiques ont d'importantes applications, on les utilise dans les investigations médicales, comme les endoscopes (figure 2-24).

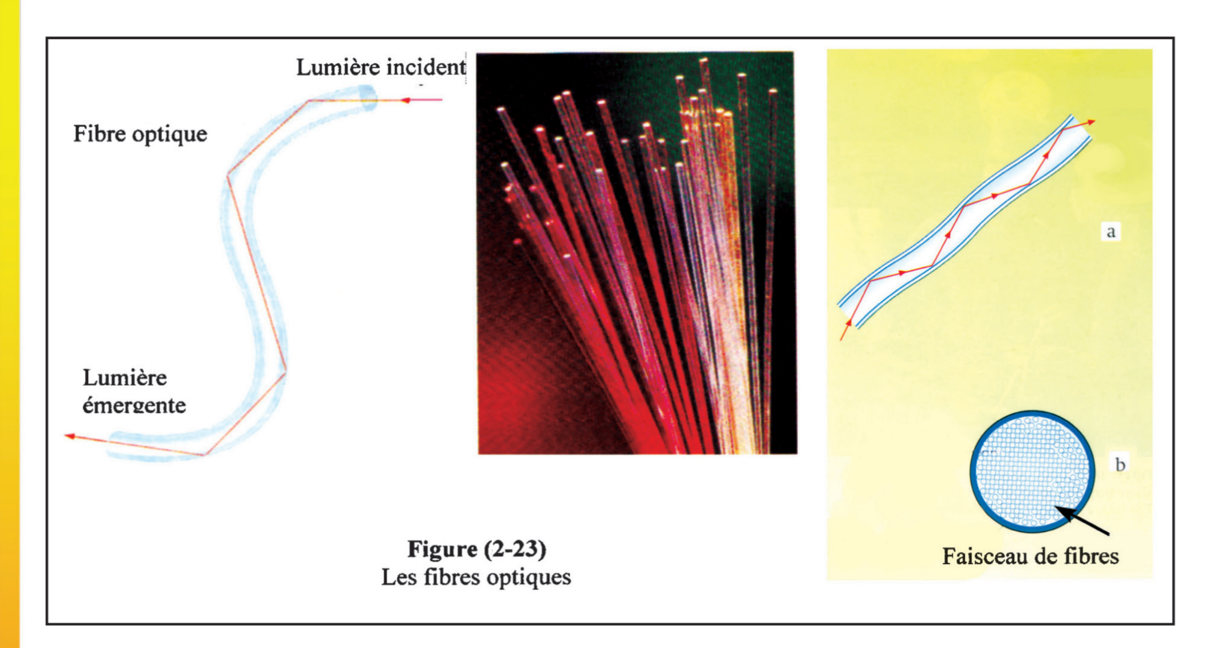
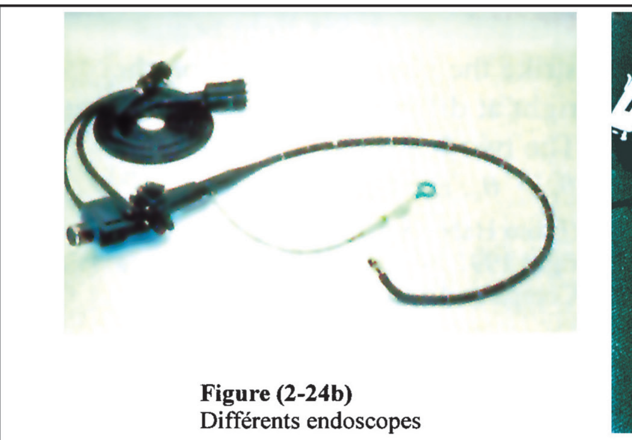


Figure (2-23)
Les fibres optiques

• Elles sont aussi utilisées dans certaines opérations chirurgicales en utilisant le rayon laser. que nous etuderous dan le chapitre 14. On les utilise aussi dans les télécommunications en faisant porter à la lumière des millions de signaux électriques à travers des câbles de fibres optiques.



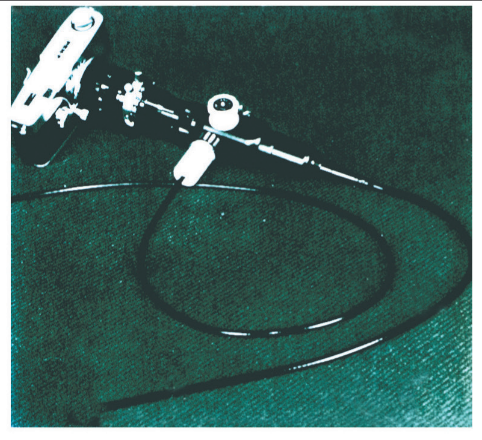


Figure (2-24b)
Différents endoscopes



Figure (2-24d)
Cavité de l'œsophage photographié au moyen d'un endoscope

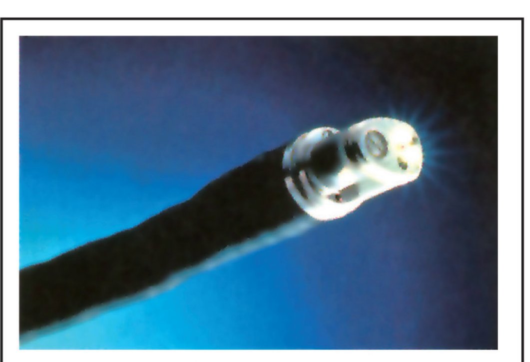


Figure (2-24c)
Figure (agrandie) d'un endoscope médical

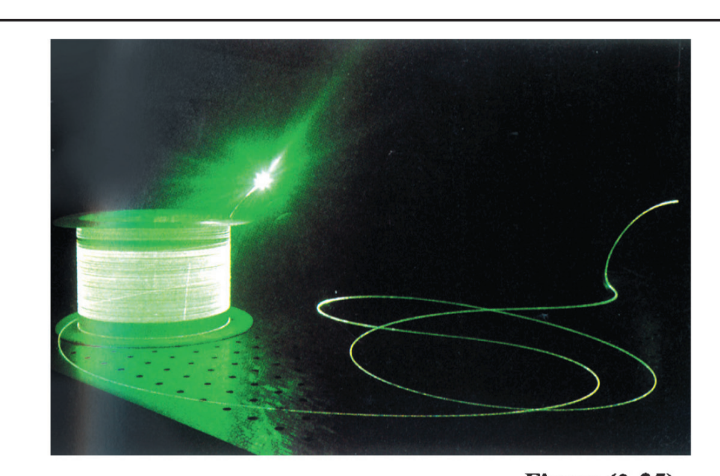


Figure (2-25)
Fibres optiques pour transmettre des signaux électriques

Enrichissons nos connaissances :

Le pelage (fourrure) de l'ours n'a pas seulement le rôle d'isolant thermique, mais les poils forment un très grand nombre de fibres optiques qui réfléchissent les rayons ultraviolets. Pour cela le pelage apparaît de couleur blanche (figure 2-26). La lumière visible se réfléchit sur les surfaces internes des poils (qui sont transparents et creux). La peau absorbe tous les rayons qui lui parviennent, c'est pour cela qu'elle apparaît de couleur noire.

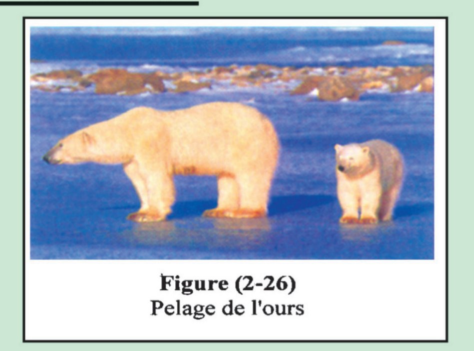


Figure (2-26)
Pelage de l'ours

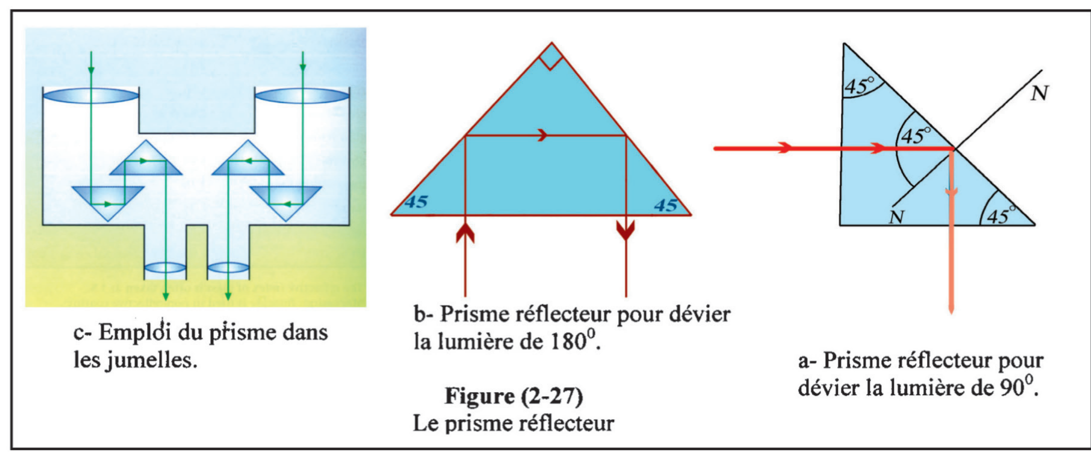
Comment agissent les fibres optiques :

- Si nous regardons par l'une des extrémités d'un tube creux et rectiligne une source lumineuse placée à l'autre extrémité, nous pouvons voir la source. Mais si le tube est recourbé, nous ne pouvons plus voir la source.
- Plaçons convenablement un miroir plan sur le trajet du rayon lumineux nous pourrons alors voir la source.
- La fibre optique joue le rôle du miroir au moyen de la réflexion totale.

2- Prisme réflecteur

L'indice du verre étant 1,5 l'angle limite dans le verre est donc à peu près 42°. Par suite un prisme triangulaire en verre ayant pour angle (90°,45°,45°) peut être utilisé pour dévier un rayon lumineux d'un angle de 90° ou 180°.

Un tel pris me est employé dans certains appareils d'optique comme le périscope du sous-marin et les jumelles (figure 2-27).



c- Emploi du prisme dans les jumelles.

b- Prisme réflecteur pour dévier la lumière de 180^0.

a- Prisme réflecteur pour dévier la lumière de 90^0.

Figure (2-27)
Le prisme réflecteur

Remarque :

Il est préférable d'utiliser le prisme réflecteur plutôt que les surfaces métalliques réfléchissantes car :

1- La réflexion à l'intérieur du prisme est une réflexion totale. Il est rare de trouver une surface métallique dont le pouvoir réflecteur est de 100%.

2- Sous l'action de certains facteurs, la surface métallique peut perdre son éclat et son pouvoir réflecteur diminue, ce qui ne se produit pas avec le prisme.

• Une partie de la lumière est perdue par réflexion en pénétrant ou en émergeant du prisme. On évite cela en recouvrant la surface du prisme avec une couche mince d'une substance non réfléchissante et ayant un indice de réfraction inférieur à celui du verre, comme la cryolite (fluorure d'aluminium) ou le fluorure de magnésium.

3- Le mirage :

Le mirage est un phénomène usuel les jours de forte chaleur. Il se forme en été sur les routes, qui semblent être recouvertes d'eau (figure 2-28a). On l'observe aussi dans le désert : on peut voir l'ima ge inversée d'un palmier ou d'une colline comme s'il y avait une réflexion totale à la surface de l'eau (figure 2-28b).



Figure (2-28a)
Les routes asphaltées semblent mouillées

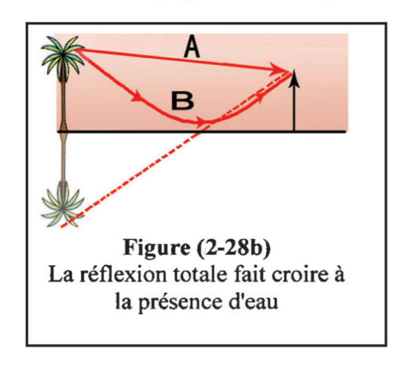


Figure (2-28b)
La réflexion totale fait croire à la présence d'eau

On interprète le phénomène du mirage comme suit :

• Les jours de grande chaleur, la température des couches d'air en contact avec le sol s'élève, leur masse volumique diminue par rapport à celle des couches supérieures.

• Par suite l'indice de réfraction des couches d'air supérieures est plus grand que celui des couches inférieures.

• Un rayon lumineux émis par le sommet d'un palmier, par exemple, et qui passe d'une couche supérieure à la couche située au-dessous d'elle, s'éloigne de la normale. Ce phénomène se répète de couche en couche.

• A une certaine couche, l'angle d'incidence dépasse l'angle limite, le rayon subit la réflexion totale et remonte vers le haut pour arriver à l'œil.

• L'œil voit l'image du sommet du palmier sur le prolongement du rayon qui l'atteint et il voit une image renversée du palmier (figure 2-28). Ainsi l'observateur s'imagine qu'il y a de l'eau.

Déviation dans le prisme triangulaire :

• Un prisme à section triangulaire reçoit un rayon lumineux ab incident sur la face xy du prisme. Ce rayon se réfracte dans le prisme dans le sens bc et arrive à la face xz. Il émerge alors dans le sens cd (figure 2-29).

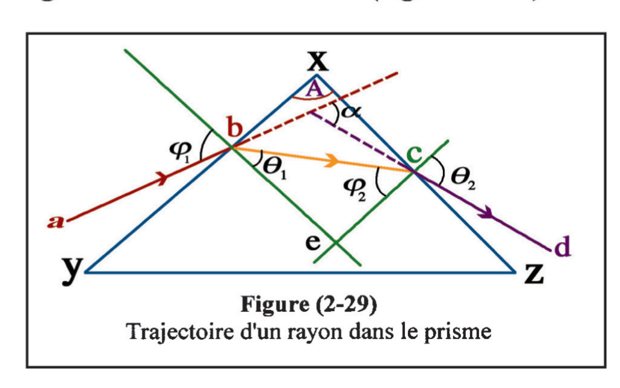


Figure (2-29)
Trajectoire d'un rayon dans le prisme

• Le rayon lumineux a subi deux réfractions, il a donc dévié de sa trajectoire d'un angle déterminé appelé l'angle de déviation (α).

L'angle de déviation est l'angle aigu compris entre les prolongements du rayon incident et du rayon émergent.

• Soit φ_1 l'angle d'incidence, θ_1 l'angle de réfraction sur la première face, φ_2 l'angle d'incidence sur la deuxième face et θ_2 l'angle d'émergence et A l'angle au sommet du prisme. A l'aide de la figure (2-29) nous pouvons déduire que :

$$\alpha = (\varphi_1 - \theta_1) + (\theta_2 - \varphi_2) = (\varphi_1 + \theta_2) - (\theta_1 + \varphi_2)$$

La somme des angles du quadrilatère bxce est 360^0 et les angles $\hat{b}$ et $\hat{c}$ sont des angles droits, par suite l'angle $b\hat{e}c = 180° - A$.

Mais dans le triangle bce la somme des angles est 180°

$$\theta_1 + \varphi_2 = 180° - (180° - A) = A \qquad (2\text{-}8)$$

Remplaçons dans la formule de α ; on obtient

$$\alpha = \varphi_1 + \theta_2 - A \qquad (2\text{-}9)$$

• De ce qui précède, l'angle de déviation α dans un prisme triangudaire d'angle au sommet A, dépend de l'angle d'incidence ϕ_1.

• On peut pratiquement démontrer que lorsque l'angle d'incidence augmente graduellement, l'angle de déviation diminue jusqu'à atteindre une valeur appelée l'angle de déviation minimale puis la déviation augmente avec l'augmentation de l'angle d'incidence comme l'indique la figure (2-30).

• Nous pouvons démontrer expérimentalement et théoriquement que lorsque la déviation est minim ale on a :

$\varphi_1 = \theta_2 = \varphi_o$

et $\theta_1 = \varphi_2 = \theta_o$

Donc les relations (2-8) et (2-9) deviennent :

$A = 2\theta_o$

D'où $\theta_o = \frac{A}{2}$ et $\alpha_o = 2\phi_o - A$ ou $\varphi_o = \frac{\alpha_o + A}{2}$

mais $n = \frac{\sin\varphi}{\sin\theta}$

Donc : $$n = \frac{\sin(\frac{\alpha_o + A}{2})}{\sin(\frac{A}{2})} \quad (2\text{-}10)$$

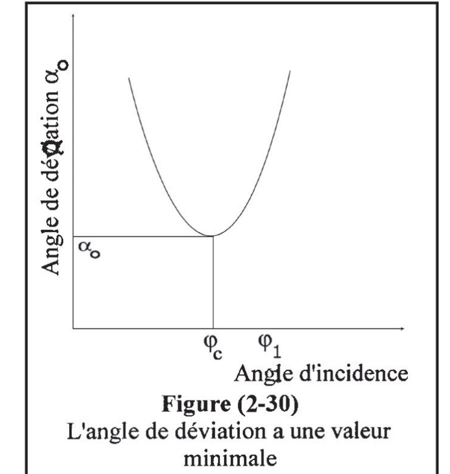


Figure (2-30)
L'angle de déviation a une valeur minimale

<u>Expérience</u> : <u>Tracer la trajectoire d'un rayon lumineux à travers un prisme et déduire les formules du prisme</u>

<u>Materiel</u> : prisme en verre d'angle au sommet 60°, épingles, règle, rapporteur.

<u>Etapes</u> :

1- Plaçons le prisme sur une feuille blanche et traçons le contour de sa base triangulaire. Traçons la droite ab représentant le rayon incident avec un angle déterminé. Regardons par l'autre face et au moyen d'épingles déterminons le rayon émergent cd.

2- Enlevons le prisme et traçons la droite bc, ainsi abcd représente le trajet du rayon.

3- Prolongeons ab et dc. Leur intersection détermine l'angle de déviation α. (**figure 2-31**)

4- Mesurons les angles, φ_1, θ_1, θ_2, φ_2 et α

5- Répétons les étapes précédentes plusieurs fois en faisant varier l'angle d'incidence, puis portons les résultats dans le tableau suivant :

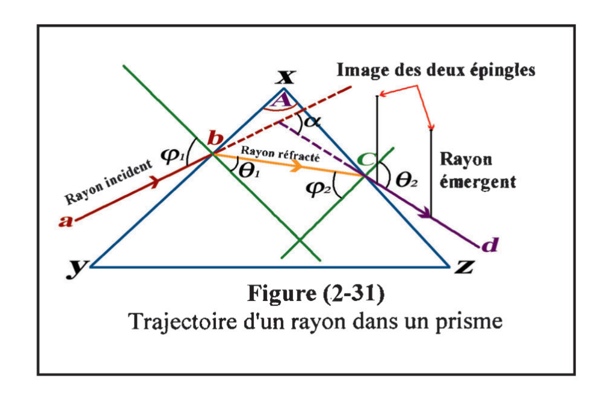


Figure (2-31)
Trajectoire d'un rayon dans un prisme

Angle au sommet A	Angle d'incidence φ_1	Angle de réfraction θ_1	Angle d'incidence interne φ_2	Angle d'émergence θ_2	Angle de déviation α

6- utilisons les équations (2-8) et (2-9) pour calculer les valeurs de A et α, puis comparons les résultats avec les valeurs mesurées expérimentalement.

Dispersion de la lumière par le prisme triangulaire :

• Nous avons vu précédemment que lorsque le prisme est en position de déviation minimale, l'indice de réfraction de sa matière est :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

Où n est l'indice de réfraction ; A est l'angle au sommet et α_0 est l'angle de déviation minimale.

• L'angle A du prisme étant constant, l'angle de déviation α dépend de l'indice n. L'augmentation de n entraîne une augmentation de α.

• Mais n dépend de la longueur d'onde de la lumière par suite la déviation α dépend aussi de la longueur d'onde.
Si un prisme reçoit un faisceau de lumière blanche ; la lumière qui émerge du prisme est dispersée pour former les couleurs connues du spectre comme le montre la figure (2-32).

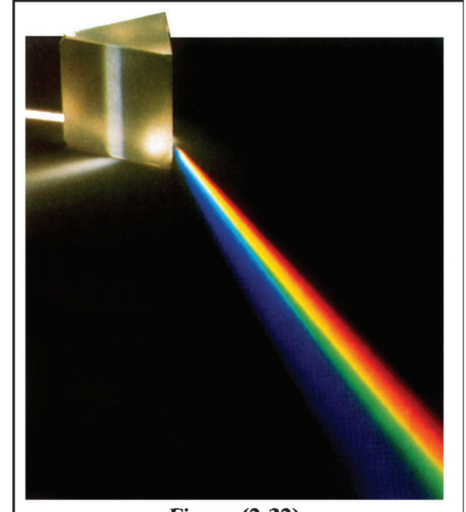


Figure (2-32)
Le prisme disperse les couleurs du spectre

• On constate que la couleur violette est la plus déviée (indice de réfraction plus grand) alors que la couleur rouge est la moins déviée (indice de réfraction plus petit).

• En allant du sommet du prisme vers sa base, les couleurs du spectre visible sont dans l'ordre suivant :
Le rouge, l'orange, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo et le violet.

Prisme mince :

C'est un prisme ayant un petit angle au sommet, ne dépassant pas quelques degrés. On le considère toujours en position de déviation minimum. On peut donc calculer l'indice de réfraction de sa matière par la relation :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

Or $\frac{\alpha_0 + A}{2}$ et $\frac{A}{2}$ sont des angles très petits donc les sinus de ces angles sont égaux aux angles mesurés en radian.

D'où : $\sin(\frac{\alpha_0 + A}{2}) \cong \frac{\alpha_0 + A}{2}$

De même : $\sin(\frac{A}{2}) \cong \frac{A}{2}$

Remplaçons, on a : $\boxed{n = \frac{\alpha_0 + A}{A}}$ (2-11)

D'où $\boxed{\alpha_0 = A(n-1)}$ (2-12)

Pouvoir de dispersion chromatique :

• Lorsqu'une lumière blanche est incidente sur un prisme, elle se disperse pour former les couleurs connues du spectre visible. Ceci est dû aux différents indices de réfraction causés par les longueurs d'onde différentes.

• Dans un prisme mince :

$\alpha_r = A(n_r - 1)$

et $\alpha_b = A(n_b - 1)$

où A est l'angle au sommet du prisme mince

α_r et α_b : les déviations des rayons rouge et bleu

n_r et n_b : les indices de réfractions pour le rouge et pour le bleu.

Par soustraction, nous obtenons :

$\boxed{\alpha_b - \alpha_r = A(n_b - n_r)}$ (2-13)

Le membre gauche est appelé l'écartement angulaire entre le rayon bleu et le rayon rouge.

• Pour la couleur jaune (qui se trouve entre le rouge et le bleu) sa déviation sera

$\alpha_j = A(n_j - 1)$ (2-14)

n_j est l'indice de la matière du prisme pour la couleur jaune.

Mais α_j est la moyenne arithmétique de α_b et α_r. Donc n_j est la moyenne arithmétique de n_b et n_r.

• Divisons membre à membre (2-13) et (2-14), nous obtenons :

$\boxed{\omega_\alpha = \frac{\alpha_b - \alpha_r}{\alpha_j} = \frac{n_b - n_r}{n_j - 1}}$ (2-15)

ω_α est appelée le pouvoir de dispersion chromatique du prisme mince. Comme le montre la formule ω_α ne dépend pas de l'angle au sommet du prisme.

Résumé

- Lois de réflexion de la lumière
  1- L'angle d'incidence = l'angle de réflexion
  2- Le rayon lumineux incident, le rayon réfléchi et la normale à la surface réfléchissante au point d'incidence sont situés dans un même plan perpendiculaire à la surface réfléchissante.

- La lumière se réfracte (change de direction) en passant d'un milieu à un autre, à cause de la variation de sa vitesse. Cette réfraction obéit à ce qui suit :
  1- Le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction est un nombre constant pour les deux milieux. On l'appelle l'indice de réfraction relatif du premier milieu au deuxième $_1n_2$

$$\therefore \frac{\sin \varphi}{\sin \theta} = {}_1n_2$$

  2- Le rayon lumineux incident, le rayon réfracté et la normale à la surface élevée au point d'incidence sont situés dans un même plan perpendiculaire à la surface de séparation.

- L'indice de réfraction du premier au deuxième est égal au rapport de la vitesse v_1 de la lumière dans le premier milieu à sa vitesse v_2 dans le deuxième, ou :

$${}_1n_2 = \frac{v_1}{v_2}$$

- L'indice n de réfraction absolu d'un milieu est :

$$n = \frac{c}{v}$$ où

c = vitesse de la lumière dans le vide
v = vitesse de la lumière dans le milieu

- Loi de Snell : le produit de l'indice de réfraction du milieu d'incidence par le sinus de l'angle d'incidence est égal au produit de l'indice de réfraction du milieu de réfraction par le sinus de l'angle de réfraction.

$$n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \theta$$

- La distance entre deux franges consécutives de même nature (dans l'expérience de Young), se calcule par la relation :

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

Où λ = longueur d'onde de la lumière
R = distance entre l'écran et les fentes
d = distance qui sépare les deux fentes

- La lumière est un mouvement ondulatoire
- L'angle limite est l'angle d'incidence dans le milieu le plus réfringent auquel correspond un angle de réfraction de 90^0 dans le milieu le moins réfringent.

- L'indice de réfraction absolu d'un milieu est égal à l'inverse du sinus de l'angle limite entre ce milieu et le vide

$$n = \frac{1}{\sin \varphi_C}$$

- Réflexion totale : si l'angle d'incidence dans le milieu le plus réfringent est supérieur à l'angle limite ; la lumière ne passe pas à l'autre milieu, mais elle subit une réflexion totale.

- Le mirage est un phénomène provenant de la réflexion totale.
- L'angle au sommet du prisme : $A = \theta_1 + \varphi_2$

- L'angle de déviation α est l'angle aigu compris entre les prolongements du rayon incident et du rayon émergent : $\alpha = (\varphi_1 + \theta_2) - A$

ou l'est l'angle d'incidonce , θ_2 l' angle d' emergence et A l'angle au sommet du prisim qu n est l'indice de refraction$_o$, α l'angle de deviation en position de deviation minimum et A l'angle au sommet du prisime
- En position de déviation minimum :

$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_o$ et $\theta_1 = \varphi_2 = \theta_o$

et l'indice de réfraction : $n = \dfrac{\sin\left(\dfrac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\dfrac{A}{2}\right)}$

θ_on est l'indice de réfraction α_o l'angle de déviation en position de déviation minimum et A l'angle au somment du prisme

- On détermine la déviation dans le prisme mince par la relation : $\alpha = A(n-1)$
- L'écartement angulaire dans le prisme mince se calcule par la différence $\alpha_b - \alpha_r$
- Le pouvoir de dispersion chromatique ω_α est :

$$\omega_\alpha = \frac{\alpha_b - \alpha_r}{\alpha_j}$$

$$\text{et } \omega_\alpha = \frac{n_b - n_r}{n_j - 1} \quad \text{où}$$

α_b = angle de déviation du bleu
α_r = angle de déviation du rouge
α_j = angle de déviation du jaune
n_b = indice du prisme pour le bleu
n_r = indice du prisme pour le rouge
n_j = indice du prisme pour le jaune

Questions et exercices

1- Montrer pourquoi on peut dire que la lumière est un mouvement ondulatoire.

2- Décrire une expérience montrant le phénomène de l'interférence lumineuse.

3- Définir :

- l'indice de réfraction relatif entre deux milieux
- l'indice de réfraction absolu d'un milieu
- l'angle limite
- l'angle de déviation

4- Compléter les phrases suivantes

a) On détermine la distance entre deux franges consécutives de même nature par la relation ……….

b) La loi de Snell est ……….

c) On calcule l'écartement angulaire dans un prisme mince par la relation ……

d) Le pouvoir de dispersion chromatique dans un prisme mince est ……….

5- Expliquer le phénomène de la formation du mirage

6- Choisir la réponse correcte :

1. Lorsque la lumière se réfléchit, alors

   a) L'angle d'incidence est inférieur à l'angle de réflexion
   b) L'angle d'incidence est plus grand que l'angle de réflexion
   c) L'angle d'incidence = l'angle de réflexion
   d) Il n'y a pas de réponse correcte

2. Lorsque la lumière se réfracte, le rapport $\frac{\sin\varphi}{\sin\theta}$: (où φ est l'angle d'incidence et θ l'angle de refraction)

   a) est constant pour les deux milieux
   b) n'est pas constant pour les deux milieux
   c) est une constante inférieure à 1
   d) est une constante supérieure à 1

3. Le rapport du sinus de l'angle de réfraction dans le premier milieu au sinus de l'angle de réflexion dans le deuxième milieu est appelé :

   a) indice de réfraction absolu du premier milieu
   b) indice de réfraction absolu du deuxième milieu
   c) indice de réfraction relatif du deuxième milieu au premier
   d) indice de réfraction relatif du premier milieu au deuxième

4. L'indice de réfraction ${}_1n_2$ est égale à :

a- $\frac{n_2}{n_1}$ b- $\frac{n_1}{n_2}$ c- $n_1 n_2$ d- $\frac{\sin\varphi_2}{\sin\theta_1}$

5. On détermine l'indice de réfraction de la matière d'un prisme en position de déviation minimale par la relation :

a) $n = \frac{\sin\alpha_o}{\sin A}$ b) $n = \frac{\sin(\frac{\alpha_o + A}{2})}{\sin(\frac{\alpha}{2})}$

c) $n = \frac{\sin(\frac{\alpha_o + A}{2})}{\sin(\frac{A}{2})}$ d) $n = \frac{\sin(\frac{\alpha_o + A}{2})}{\sin A}$

6. On détermine la déviation dans le prisme mince par la relation :

a) $\alpha_o = n(A-1)$ b) $n = A(\alpha - 1)$

c) $\alpha_o = A(n+1)$ d) $\alpha_o = A(n-1)$

7. Un rayon lumineux est incident sur la surface de séparation de deux milieux. Si l'angle d'incidence est 60° et l'angle de réfraction est 30° ; l'indice de réfraction relatif du premier milieu au deuxième milieu est :

a) $\sqrt{3}$ b) $\frac{1}{2}$ c) $\sqrt{2}$ d) 2

8. Un rayon lumineux est incident avec un angle de 48,5° sur l'une des faces d'un parallélépipède rectangle en verre, si l'indice de réfraction de sa matière est 1,5 ; l'angle de réfraction est :

a) 20° b) $\cong$ 30° c) 35° d) 40°

9. En déterminant l'angle de déviation minimum dans un prisme triangulaire, on a trouvé que α = 48,2°. Si l'angle au sommet de ce prisme est 58,8° ; l'indice de sa matière est :

a) 1,5 b) 1,63 c) 1,82 d) 1,85

10. Si l'angle limite d'un milieu par rapport à l'air est 45^0 ; l'indice de réfraction de ce milieu est :

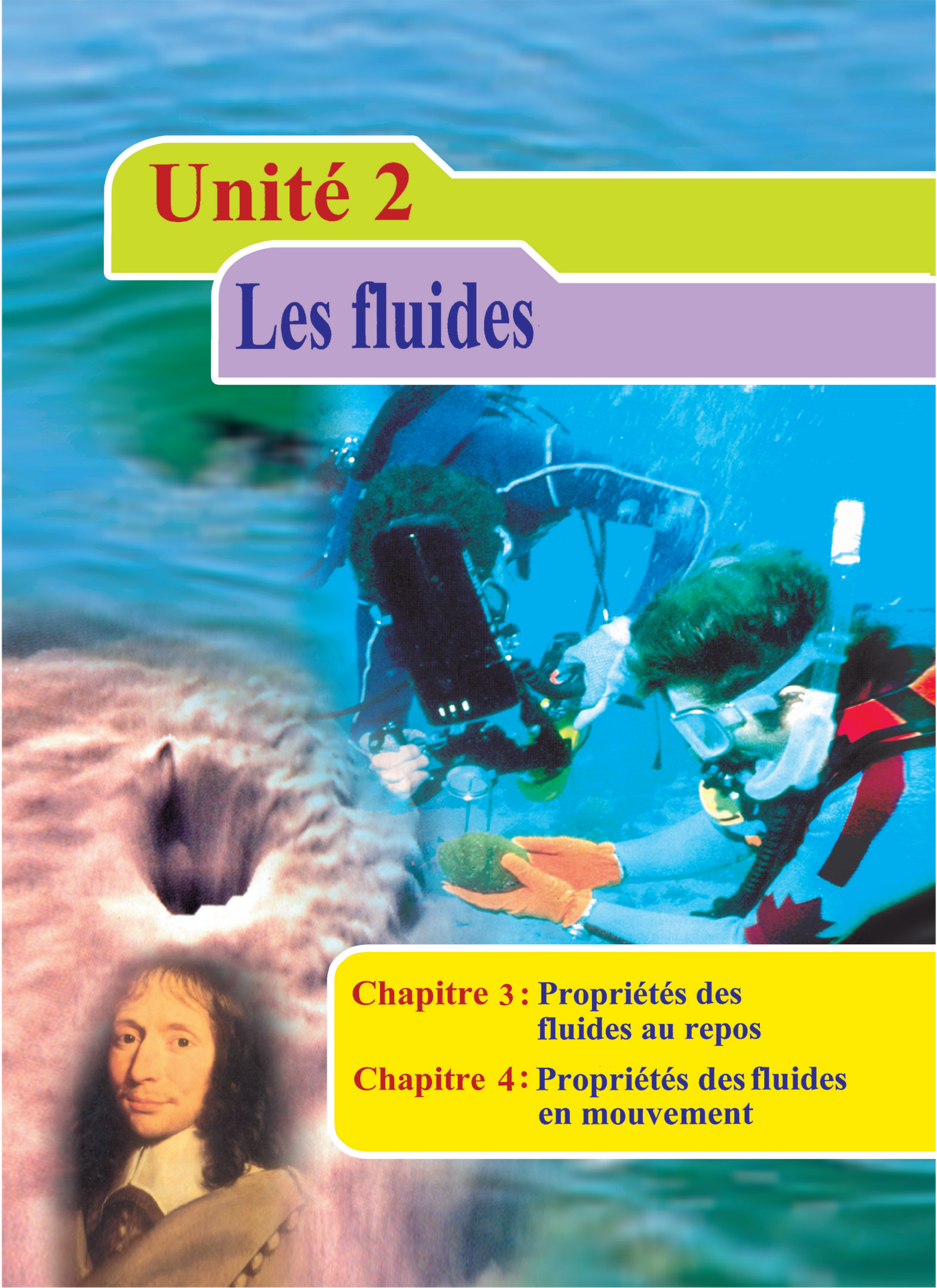
a- 1,64 b- 2 c- 1,7 d- $\sqrt{2}$

11. L'angle au sommet d'un prisme mince est 5°. L'indice de réfraction de sa matière est 1,6. Un rayon qui le traverse dévie d'un angle de :

a) 5° b) 6° c) 8° d) 3°

12. Un prisme ayant un angle au sommet de 8° dévie la lumière de 4°. Par suite l'indice de la matière de ce prisme est :

a) 1,5 b) 1,4 c) 1,33 d) 1,6



Unité 2

Les fluides

Chapitre 3 : Propriétés des fluides au repos

Chapitre 4 : Propriétés des fluides en mouvement

Les fluides

Unité 2



Chapitre 3 Propriétés des fluides au repos

Unité 2 : Les fluides

Chapitre 3
Propriétés des fluides au repos

Introduction :

• Les fluides sont les matières qui peuvent s'écouler et donc changer de forme comme les liquides et les gaz. Les gaz sont facilement compressibles tandis que les liquides ne le sont pas.

• Ainsi les liquides se distinguent par l'écoulement et l'incompressibilité ce qui leur fait occuper un volume déterminé. Les gaz compressibles peuvent occuper n'importe quel espace qui les contient.

Masse volumique :

• C'est l'une des propriétés caractéristiques de la matière qui a pour symbole ρ. C'est la masse de l'unité de volume de la matière, son unité dans le système international (S.I.) est kg/m^3.

$$\boxed{\rho = \frac{m}{V_{ol}}} \qquad (3\text{-}1)$$

• La masse volumique varie d'un élément à un autre pour les raisons suivantes :

1. La variation du poids atomique.
2. La variation de la distance qui sépare les atomes ou les molécules.

• Les corps de petite masse volumique flottent sur les liquides qui possèdent une plus grande masse volumique.

• Le tableau suivant donne la masse volumique de quelques matières.

Matière	Masse volumique (kg/m^3)	Matière	Masse volumique (kg/m^3)
Solides		Fer	7900
Aluminium	2700	Plomb	11400
Cuivre jaune	8600	Platine	21400
Cuivre rouge	8890	Acier	7830
Verre ordinaire	2600	Sucre	1600
Or	19300	Cire	1800
Glace	910		

Matière	Masse volumique (kg/m^3)	Matière	Masse volumique (kg/m^3)
Liquides		**Gaz**	
Alcool éthylique	790	Air	1,29
Benzène	900	Ammoniac	0,76
Sang	1040	Dioxyde de carbone	1,96
Gazoline	690	Monoxyde de carbone	1,25
Kérosène	820	Hélium	0,18
Glycérine	1260	Hydrogène	0,09
Eau	1000	Nitrogène	1,25
		Oxygène	1,43

• La densité d'une matière est le rapport de la masse volumique de cette matière à la masse volumique de l'eau à la même température.

Donc,

$$\text{la densité d'une matière} = \frac{\text{masse volumique de la matière à une température déterminée}}{\text{masse volumique de l'eau à la même température}} \qquad (3\text{-}2)$$

Généralement :

$$\text{La densité d'une matière} = \frac{\text{masse d'un certain volume de la matière à une température déterminée}}{\text{masse d'un même volume d'eau à la même température}}$$

• Puisque la densité d'une matière est un rapport entre deux grandeurs semblables, c'est donc un nombre sans unité.

Applications sur la masse volumique :

1. La mesure de la masse volumique est l'une des techniques de l'analyse. Elle est utilisée pour déterminer la masse volumique de l'électrolyte de la batterie d'une voiture.

Lorsque la batterie se décharge, la masse volumique de l'électrolyte diminue (acide sulfurique dilué) à cause de la consommation de cet acide pendant sa réaction avec le plomb. En rechargeant la batterie, le sulfate se libère des plaques de plomb et retourne à nouveau dans l'acide ce qui augmente sa masse volumique. Ainsi, en mesurant la masse volumique de l'acide, on peut déterminer le niveau de la charge de la batterie.

2. La mesure de la masse volumique du sang et de l'urine est aussi utilisée en médecine.

La masse volumique du sang, à l'état normal, est entre 1040 kg/m^3 et 1060 kg/m^3. Si cette valeur augmente cela indique que la concentration des cellules du

sang augmente. Si cette valeur diminue cela indique que la concentration des cellules du sang diminue ce qui est le cas de l'anémie.
La masse volumique de l'urine normale est 1020 kg/m^3. Certaines maladies augmentent la concentration des sels ce qui conduit à une augmentation correspondante dans la masse volumique de l'urine.

La pression :

Définition : La pression en un point est la force moyenne agissant perpendiculairement sur une unité de surface entourant ce point.
Si une force (F) agit perpendiculairement sur une surface d'aire (A), la pression (P) agissant sur cette surface est détermin ée par la relation : $\boxed{P = \frac{F}{A}}$ (3-3)
Puisque la force (F) est évaluée en newton et l'aire (A) de la surface en mètre carré donc l'unité de la pression est newton/m^2 (n/m^2).

Enrichissons nos connaissances.

Qui exerce une pression plus grande ; le pied d'un éléphant ou celui d'une personne ?
Puisque la pression est la force agissant perpendiculairement sur l'unité de surface, donc la pression exercée par le talon d'une chaussure pointue est plus grande que celle exercée par le pied d'un éléphant sur le sol car l'aire de la surface d'un talon pointu est excessivement petite par rapport à celle de la patte d'un éléphant.

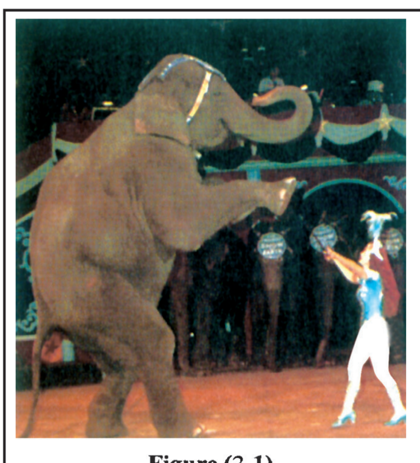


Figure (3-1)

La pression en un point à l'intérieur d'un liquide et sa mesure :

- Si l'on pousse un morceau de liège sous la surface de l'eau puis on le laisse, on trouve qu'il remonte à nouveau vers la surface. Ceci montre que l'eau pousse le liège immergé avec une force agissant vers le haut. Cette force est engendrée par la différence de pression de l'eau sur le liège.

- En n'importe quel point à l'intérieur du liquide, la pression agit dans tous les sens. Le sens de la force sur une surface déterminée est perpendiculaire à cette surface.

• La pression sur un corps est la même que celle exercée sur un volume égal de liquide placé dans sa même position. Le liquide qui a remplacé le corps est sous l'action de deux force s : son poids qui agit vers le bas et la force pressante du liquide qui l'entoure.

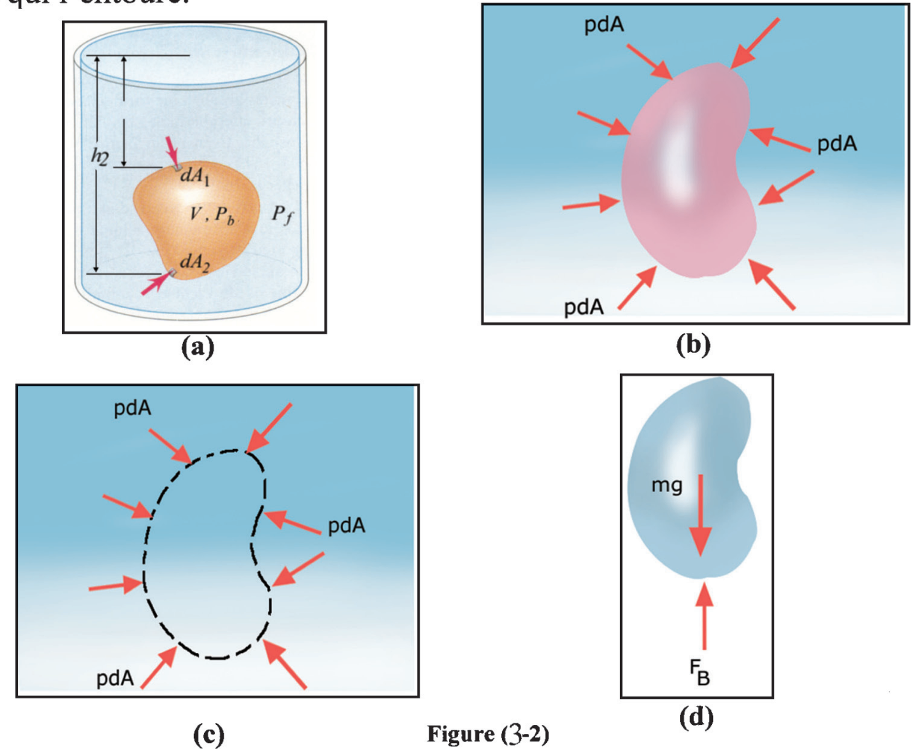


Figure (3-2)

La pression à l'intérieur d'un liquide

a) La pression à l'intérieur du liquide est perpendiculaire à toute surface interne.

b) En tout point d'un corps immergé, la pression est perpendiculaire sur la surface de ce corps.

c) La pression sur la surface d'un corps immergé est égale à celle exercée sur la surface d'un volume de liquide égal au volume du corps immergé et ayant sa même forme.

d) Une partie quelconque du liquide est en équilibre sous l'action de deux forces ; le poids du liquide et la force pressante de la partie restante du liquide sur celle-ci.

• Plus la profo ndeur du liquide augmente plus la pression augmente (figure 3-3).

La pression p_0

h

1

La pression p

2

o

y

Figure (3-3)

Plus la profondeur du liquide augmente, plus la pression augmente.

• Pour calculer la pression (P) on imagine une plaque horizontale d'aire (A) m^2 à une profondeur (h) m sous la surface d'un liquide de masse volumique ρ (kg/m^3) comme l'indique la figure 3-4.
La force avec laquelle le liquide agit sur la plaque (X) est égale au poids du liquide de hauteur (h) et d'aire de section (A).

• Puisque le liquide est incompressible, donc la force pressante du liquide sur la plaque qui agit vers le haut doit s'équilibrer avec le poids du liquide de hauteur (h).

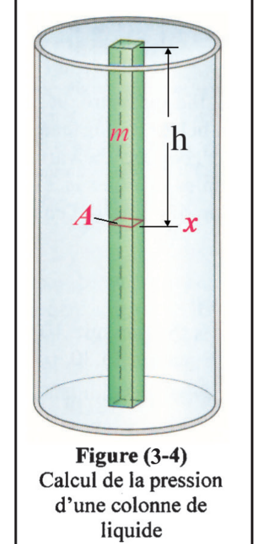


Figure (3-4)
Calcul de la pression d'une colonne de liquide

• Puisque le volume V de cette colon ne liquide est V = A.h et sa masse est $m=\rho V=\rho Ah$, donc le poids de ce liquide F_g (newton) est déterminé par la relation $F_g = mg = \rho A h g$; où g (m/s^2) est l'accélération de la gravité.

Donc la pression du liquide P sur la plaque X est déterminée par la relation :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho h g \ (N/m^2)$$

Ainsi $\boxed{P = \rho h g \ (N/m^2)}$ (3-4)

• Cette formule nous donne la valeur de la pression exercée seulement par le liquide en un point à l'intérieur et à une profondeur h.

• Or, la surface libre du liquide est aussi exposée à la pression atmosphérique P_a, donc, la pression totale en un point au sein d'un liquide est déterminée par la relation :

$\boxed{P = P_a + \rho h g}$ (3-5)

• Cette pression totale P exercée en un point à l'intérieur du liquide augmente avec l'augmentation de la profondeur h de ce point et aussi avec l'augmentation de la masse volumique ρ du liquide pour la même profondeur.

• De cette relation nous pouvons déduire que :

1. Tous les points qui sont au même niveau horizontal dans un même liquide ont une même pression.

2. Dans les vases communicants, la hauteur du liquide dans les diverses branches est la même (quelques soient leurs formes géométriques) à condition que la base du récipient soit horizontale (figure 3-5).
C'est pour cela que le niveau de la surface de la mer est le même pour toutes les mers qui sont reliées entre elles.

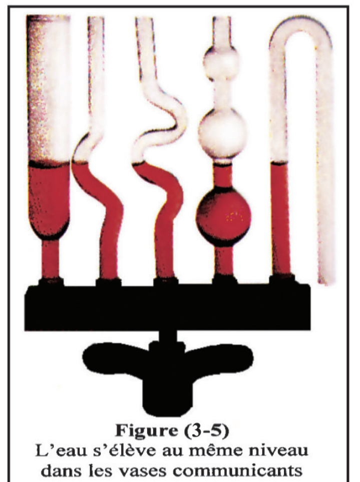


Figure (3-5)
L'eau s'élève au même niveau dans les vases communicants

3. L'épaisseur d'un barrage augmente à sa base pour résister à l'augmentation de la pression avec l'augmentation de la profondeur (figure 3-6).

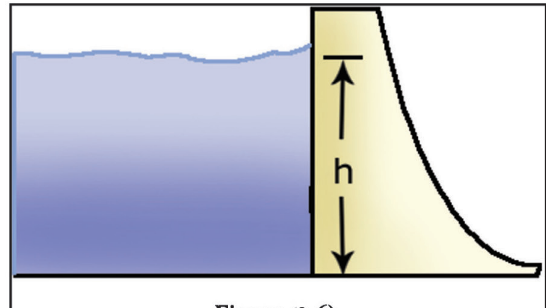


Figure (3-6)
La base d'un barrage est plus épaisse pour résister à l'augmentation de la pression avec la profondeur.

Equilibre des liquides dans un tube à deux branches :

• Prenons un tube en U contenant une quantité convenable d'eau. Ajoutons une quantité d'huile dans l'une des branches (celle de gauche), jusqu'à ce que le niveau de l'huile atteigne un niveau déterminé C. (Nous savons que l'eau et l'huile sont immiscibles).

• Soit h_0 la hauteur de l'huile au-dessus du niveau de séparation AD entre l'eau et l'huile et h_{eau} la hauteur de l'eau dans la branche droite au-dessus de la surface de séparation (figure 3-7).

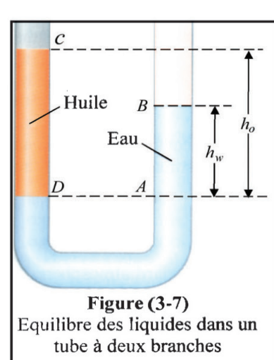


Figure (3-7)
Equilibre des liquides dans un tube à deux branches

• Puisque la pression en A = la pression en D, donc $P_a + \rho_0 h_0 g = P_a + \rho_{eau} h_{eau} g$ où P_a est la pression atmosphérique ; ρ_0 est la masse volumique de l'huile et ρ_{eau} est la masse volumique de l'eau.

$\therefore \rho_0 h_0 = \rho_{eau} h_{eau}$

Cette relation peut s'écrire : $\boxed{\frac{\rho_0}{\rho_{eau}} = \frac{h_{eau}}{h_0}}$ (3-6)

En mesurant h_0 et h_{eau} on peut déterminer expérimentalement la densité de l'huile. Connaissant la masse volumique de l'eau on peut aussi connaître celle de l'huile.

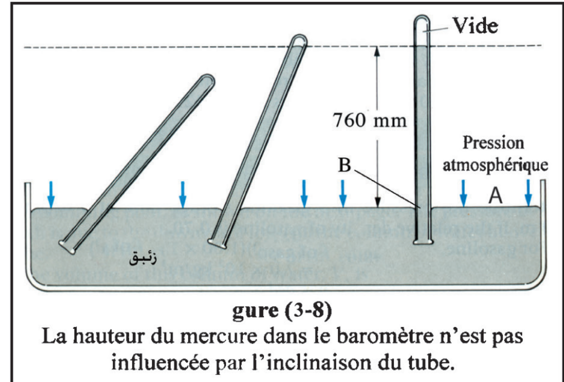
La pression atmosphérique :

• Torricelli a inventé le baromètre à mercure pour mesurer la pression atmosphérique.

• C'est un tube en verre d'environ un mètre de longueur, entièrement rempli de mercure puis inversé dans une cuve à mercure. Le mercure dans le tube s'abaisse jusqu'à une hauteur verticale d'environ 0,76 m.

• L'espace au-dessus de la surface du mercure dans le tube est vide (il contient très peu de vapeur de mercure dont la pression est négligeable). Cet espace est appelé " vide de Torricelli ".

• La figure (3-8) indique que la hauteur verticale h de la colonne de mercure dans le tube au-dessus du niveau de la surface libre du mercure dans la cuve, reste constante, si le tube est vertical ou incliné.



gure (3-8)
La hauteur du mercure dans le baromètre n'est pas influencée par l'inclinaison du tube.

• Prenons deux points A et B dans un même niveau horizontal : A est hors du tube sur la surface libre du mercure dans la cu ve et B est à l'intérieur du tube. La pression en A = la pression en B donc :

$\boxed{P_a = \rho h g}$ (du mercure dans le tube) (3-7)

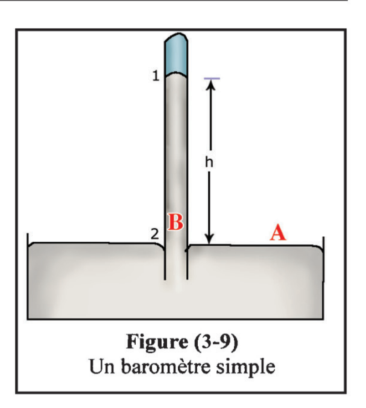


Figure (3-9)
Un baromètre simple

• Cela signifie que la pression atmosphérique est équivalente à la pression engendrée par le poids d'une colonne de mercure d'environ 0,76 m de

hauteur et d'un mètre carré d'aire de section (à zéro degré Celsius).

• La pression atmosphérique normale est la pression de l'air mesurée à la surface de l'eau de mer, elle vaut 0,76 m de mercure.

• A T.P.N. (Température et Pression Normales),la pression = 0,76 m de mercure et la température = 0°C.

• A 0°C, la masse volumique du mercure = 13595 kg/m^3, donc à T.P.N. ; Pa = 1 atm. = $(\rho\ h\ g)_{mercure}$ = 13595 × 0,76 × 9,81 = 1,013×10^5 N/m^2.

Enrichissons nos connaissances :

Que se passe-t-il dans l'oreille à une grande altitude ?

• La pression atmosphérique est le poids de la colonne d'air d'une unité d'aire agissant en un point sur la surface de la terre.

• Sur le tympan de l'oreille la pression atmosphérique extérieure s'équilibre avec la pression interne du corps.

• Plus on s'élève au-dessus de la surface de la terre, plus la hauteur de la colonne d'air atmosphérique diminue et par suite la pression atmosphérique diminue.

• A une grande altitude, la pression atmosphérique extérieure devient inférieure à la pression interne. Le tympan est poussé vers l'extérieur, il est donc tendu et l'oreille a mal.

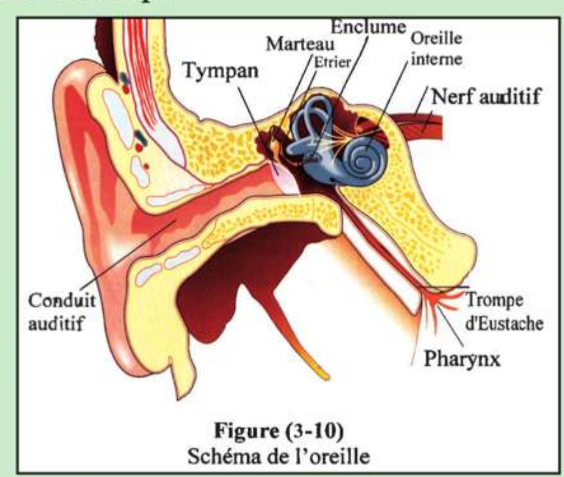


Figure (3-10)
Schéma de l'oreille

• On peut égaliser ces deux pressions en contrôlant la quantité d'air dans la trompe d'Eustache est ceci en avalant de la salive ou en mastiquant afin de diminuer la pression sur le tympan.

Les unités de mesure de la pression atmosphérique :

• Dans le système international on mesure la pression atmosphérique avec la même unité que celle de la pression ordinaire c.à.d. en N/m^2. On a choisi le pascal, 1 pascal = 1 N/m^2.

Donc la pression atmosphérique normale Pa = 1,013×10^5 pascal.

• On utilise encore une unité plus grande qui est le " bar "

1 bar = 10^5 Pascal = 10^5 N/m^2

Donc la pression atmosphérique normale Pa = 1,013 bar

• On mesure aussi la pression atmosphérique en millimètre de mercure appelée torr.
1 torr = 1 mm Hg
Donc la pression atmosphérique :
P_a = 1 atm. = 760 torr = 760 mm Hg = 0,76 m Hg = 1,013 bar.

Le manomètre :

• Le manomètre est un tube à deux branches en forme de U contenant une quantité convenable de liquide de masse volumique connue. L'une des deux branches est reliée à un réservoir contenant le gaz dont on veut mesurer la pression. On constate que le niveau du liquide s'abaisse dans l'une des branches et qu'il s'élève dans l'autre.

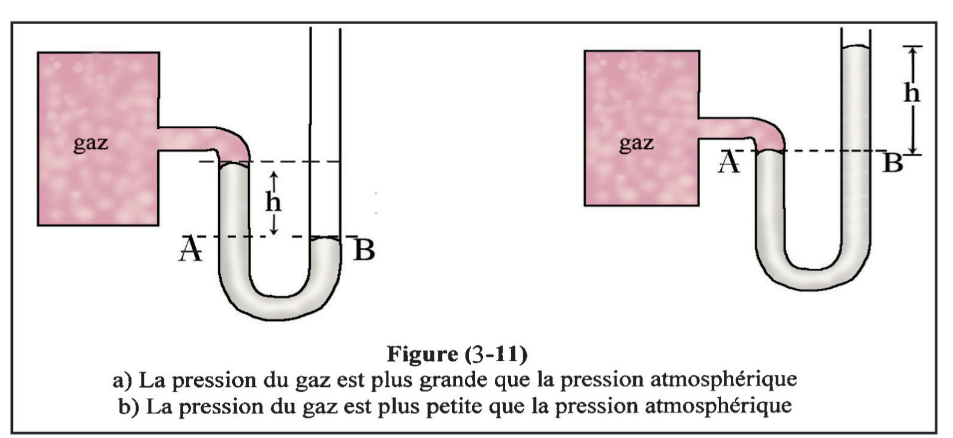


Figure (3-11)
a) La pression du gaz est plus grande que la pression atmosphérique
b) La pression du gaz est plus petite que la pression atmosphérique

• Si $P_{gaz} > P_a$, prenons deux point A et B au même niveau horizontal dans le même liquide (figure 3-11a).
La pression en A = La pression en B
ou $P = P_a + \rho h g$

P est la pression du gaz emprisonné dans le réservoir qui est plus grande que la pression atmosphérique P_a et ρ h g est la pression du liquide dans la branche libre du manomètre au-dessus du point B.

• ΔP = Différence de pression entre P et $P_a = P_{gaz} - P_a = \rho h g$ (3-8)

Dans plusieurs applications, il est plus utile de mesurer ΔP au lieu de P_{gaz}. Cette mesure est facile à déterminer connaissant la masse volumique ρ du liquide dans le manomètre, la différence de hauteur h du liquide dans les deux branches et l'accélération g. On peut aussi calculer la pression P du gaz connaissant P_a.

• Si $P_{gaz} < P_a$ (figure 3-11b) : $P = P_a - \rho h g$
Dans ce cas le niveau de la surface libre du liquide dans la branche libre du manomètre est plus bas que celui du liquide dans la branche reliée au réservoir.

Applications sur la pression :

1. Le sang est un liquide visqueux, pompé par un effet musculaire du coeur à travers un système complexe d'artères et de veines. L'écoulement du sang à travers le corps est habituellement laminaire.

Si l'écoulement du sang est turbulent, la personne est considérée malade. Dans ce cas il se forme des pulsations très fortes que l'on peut entendre en plaçant le stéthoscope sur l'artère et ceci pendant la mesure de la pression sanguine (artérielle) qui a deux valeurs :

a) La pression systolique qui est la valeur maximale de la pression sanguine dans l'artère lorsque le muscle du coeur se contracte et le sang est poussé du ventricule gauche vers l'aorte puis aux artères.

b) La pression diastolique qui est la valeur minimale de la pression sanguine dans l'artère lorsque le muscle du cœur se relâche.

Pour une personne adulte en bonne santé, la pression systolique est 120 torr et la pression diastolique est 80 torr.

2. On remplit le pneu d'une voiture avec de l'air sous une haute pression. Ainsi la surface de contact du pneu avec le sol devient minimale. Si le pneu est rempli d'air sous faible pression, cette surface de contact augmente, ce qui augmente le frottement du pneu avec le sol et par suite augmente l'échauffement du pneu.

On mesure la pression de l'air dans le pneu à l'aide du manomètre (figure 3-12).

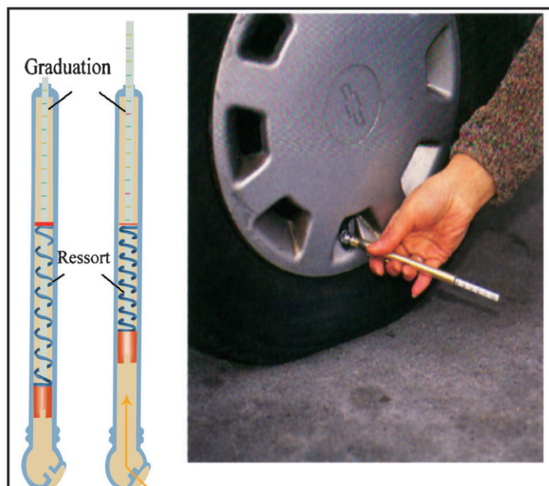


Figure (3-12)
Mesure de la pression de l'air dans un pneu de voiture.

Exemples :

1. Un parallélépipède rectangle solide de dimensions (5cm × 10 cm × 20 cm) et dont la masse volumique de sa matière est 5000 kg/m^3 est placé sur une surface horizontale. Calculer la pression maximale et la pression minimale qu'il exerce sur cette surface (g=10 m/s^2).

Solution :

a) Pour calculer la pression maximale ; on place le corps sur la face d'aire minimale ; celle de dimensions (5 cm x 10 cm).

$$P = \frac{F}{A} = \frac{(5\times10\times20\times10^{-6})\times5000\times10}{5\times10\times10^{-4}} = 10^4 \text{ N/m}^2.$$

b) Pour calculer la pression minimale ; on place le corps sur la face d'aire maximale ; celle de dimensions (10cm x 20cm).

$$P = \frac{F}{A} = \frac{(5\times10\times20\times10^{-6})\times5000\times10}{10\times20\times10^{-4}} = 2500\ N/m^2.$$

2. Trouver la pression totale et la force pressante totale agissant sur le fond d'un bassin contenant de l'eau salée de masse volumique 1030 kg/m³ sachant que l'aire de section du bassin est 1000 cm², la hauteur de l'eau est un mètre, la surface de l'eau dans le bassin est exposée à l'air atmosphérique, g=10 m/s² et la pression atmosphérique = 1,013×10⁵ N/m².

Solution :

a) La pression totale :

$P = P_a + \rho\, h\, g$

$= 1{,}013\times10^5 + 1030 \times 1 \times 10 = 1{,}116 \times 10^5\ N/m^2.$

b) La force pressante totale :

$F = P \times A = 1{,}116\times10^5 \times (1000 \times 10^{-4}) = 1{,}116 \times 10^4\ N.$

3. On utilise un manomètre à mercure pour mesurer la pression d'un gaz à l'intérieur d'un réservoir. Si la surface du mercure dans la branche libre est plus élevée que celle dans la branche reliée au réservoir de 36 cm ; calculer la pression du gaz emprisonné en : a) cm de Hg b) atm. C) N/m²
Sachant que la pression atmosphérique = 0,76 m de Hg = 1,013x105 N/m².

Solution :

a) en cm de Hg

$P = P_a + h = 76 + 36 = 112$ cm de Hg

b) en atm.

$$P = \frac{P_{cm\ Hg}}{76} = \frac{112}{76} = 1{,}474\ atm.$$

c) en N/m^2

$P = 1{,}474 \times 1{,}013\times10^5 = 1{,}493\times10^5\ N/m^2.$

4. Dans un tube en forme d'U, l'aire de section de sa branche étroite = 1 cm² et celle de l'autre branche = 2 cm². On le remplit partiellement avec de l'eau (de masse volumique 1000 kg/m³) puis on verse une quantité d'huile (de masse volumique 800 kg/m³) dans la branche étroite jusqu'à ce que la hauteur de la colonne d'huile devienne 5 cm. Calculer la hauteur de l'eau au dessus de la surface de séparation de l'eau avec l'huile.

Solution :

$\rho_0\, h_0\, g = \rho_{eau}\, h_{eau}\, g$

$\rho_0\, h_0 = \rho_{eau}\, h_{eau}$

$$h_{eau} = \frac{\rho_0 h_0}{\rho_{eau}} = \frac{800\times5}{1000} = 4\ cm$$

Remarque :

Le rayon du tube (ou l'aire de sa section) n'influe pas du tout sur la hauteur de chaque liquide dans les deux branches. Il est donc clair que le niveau du liquide dans un récipient n'est pas influencé par sa forme.

Principe de Pascal :

- Soit un liquide dans un récipient en verre muni d'un piston comme celui indiqué sur la figure (3-13).
- La pression en un point A à l'intérieur, à une profondeur h est :

$P = P_1 + \rho h g$

P_1 est la pression à la surface du liquide (au-dessous du piston directement) produite par la pression atmosphérique et le poids du piston.

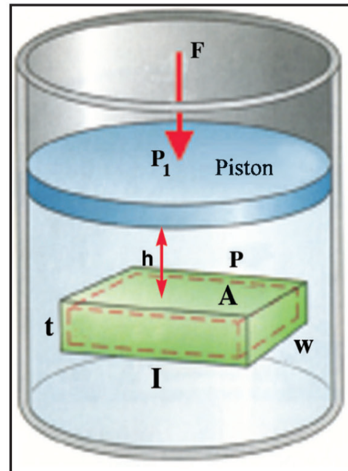


Figure (3-13)
L'augmentation du poids sur le piston augmente la pression sur le liquide.

- Si l'on augmente la pression sur le piston d'une valeur ΔP, et ceci en plaçant un poids supplémentaire sur celui-ci, on remarque que le piston ne se déplace pas vers l'intérieur car le liquide est incompressible.

- Or la pression à la surface du liquide, directement sous le piston, a augmenté d'une valeur ΔP, de même la pression au point A à une profondeur h a aussi augmenté d'une valeur ΔP car la pression en ce point devient $P = P_1 + \rho h g + \Delta P$

Si l'on augmente la pression ΔP jusqu'à dépasser une valeur déterminée on peut briser le récipient.

Le savant français Pascal a formulé ce résultat dans son principe :
" Lorsqu'un liquide enfermé dans un récipient subit une pression, celle-ci se transmet intégralement à tous les points du liquide ainsi qu'aux parois du récipient ".

Applications sur le principe de Pascal :

La presse hydraulique :

- Parmi plusieurs applications on peut citer la presse hydraulique et les freins des voitures.
- La presse hydraulique figure (3-14) est constituée d'un petit piston d'aire de section (a) et d'un grand piston d'aire de section (A), l'espace entre les deux pistons est rempli d'un liquide qui convient.

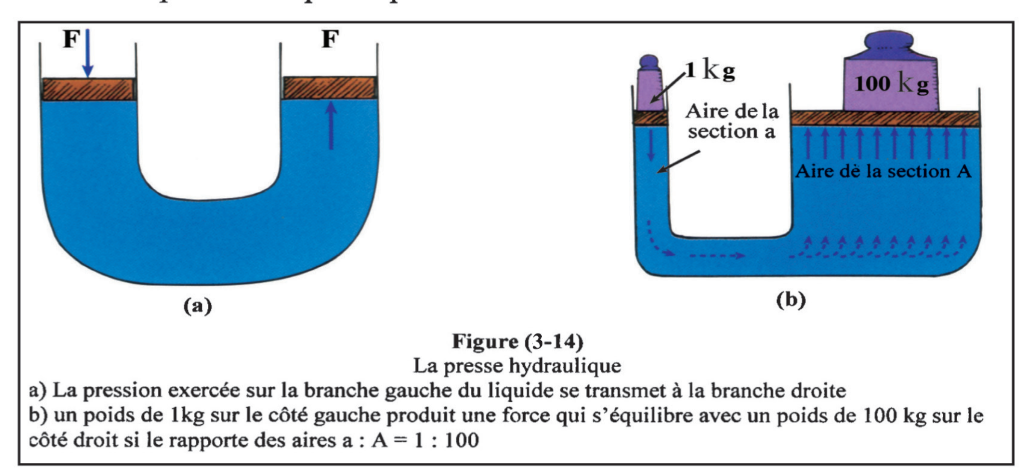


Figure (3-14)
La presse hydraulique
a) La pression exercée sur la branche gauche du liquide se transmet à la branche droite
b) un poids de 1kg sur le côté gauche produit une force qui s'équilibre avec un poids de 100 kg sur le côté droit si le rapporte des aires a : A = 1 : 100

- Si une pression P est exercée sur le petit piston, le liquide à son tour est influencé par cette même pression qui se transmet intégralement à travers lui jusqu'à la surface inférieure du grand piston.
- Soit (f) la force agissant sur le petit piston et (F) la force agissant sur le grand piston. Lorsque les deux pistons sont en équilibre au même niveau horizontal, la pression sur ceux-ci est la même.

Donc $P = \frac{f}{a} = \frac{F}{A}$ ou $\boxed{F = \frac{A}{a} f}$ (3-9)

Cette relation indique qu'une petite force f agissant sur le petit piston produit une grande force F sur le grand piston.
Le rendement mécanique de la presse hydraulique (η)

$$\boxed{\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a}} \quad (3\text{-}10)$$

Ce rendement est déterminé par le rapport de l'aire du grand piston à celle du petit piston.

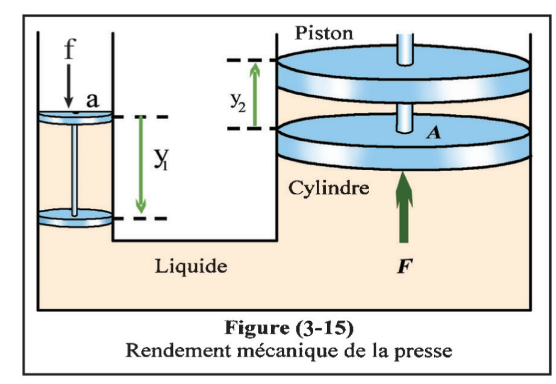


Figure (3-15)
Rendement mécanique de la presse

De la figure (3-15) on constate que si le petit piston est déplacé vers le bas d'une distance y_1 sous l'effet de la force (f), le grand piston se déplace vers le haut

d'une distance y_2 sous l'effet de la force (F) telles que $y_1 > y_2$ car d'après la loi de la conservation de l'énergie on a un même travail fourni sur les deux pistons s'il n'y a pas de perte d'énergie.

Ainsi $f \times y_1 = F \times y_2$

Ou $\frac{F}{f} = \frac{y_1}{y_2} = \eta$

D'où $\boxed{F = \frac{y_1}{y_2} f}$ (3-11)

Ceci indique que le rendement de la presse peut être exprimé par le rapport $\frac{y_1}{y_2}$

Enrichissons nos connaissances :

Applications sur le principe de Pascal.

1. Les freins hydrauliques des voitures utilisent le principe de Pascal dans le liquide intermédiaire de ce système (huile à freins).

Lorsqu'on presse sur la pédale à freins avec une petite force sur une distance relativement grande, on obtient une très grande force sur le disque principal de freinage.

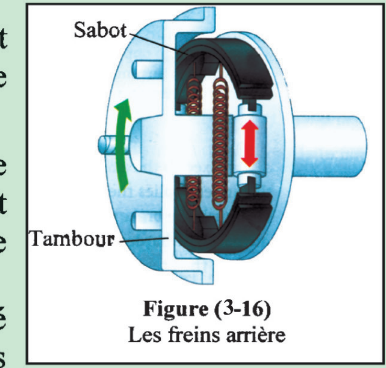


Figure (3-16)
Les freins arrière

Cette pression se transmet au liquide enfermé dans les tubes de conduit vers les pistons des disques de freinage, vers les sabots, vers le tambour. Ainsi une très grande force de frottement arrête les pneus et par suite la voiture. Ce type de freins est appelé " freins à tambour ". Il est utilisé pour freiner les pneus arrière (figure 3-16).

Dans le cas des freins avant on utilise un autre système appelé freins à disque (figure 3-17). La force produite sur ceux-ci exerce une pression sur des coussins, ce qui produit un frottement qui arrête le pneu.

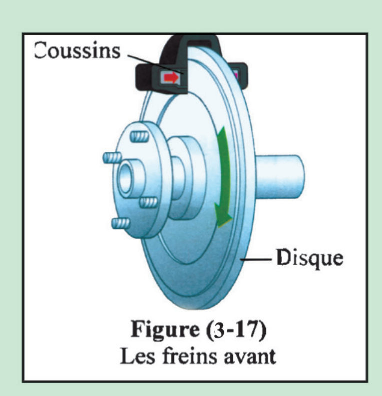


Figure (3-17)
Les freins avant

- Dans les deux cas, freins arrière et freins avant, la distance parcourue par le sabot du frein est faible car la force engendrée sur celui-ci est très grande.

2. Le levier hydraulique est une autre application du principe de Pascal qui utilise un liquide pour sou lever une voiture dans les stations d'essence.

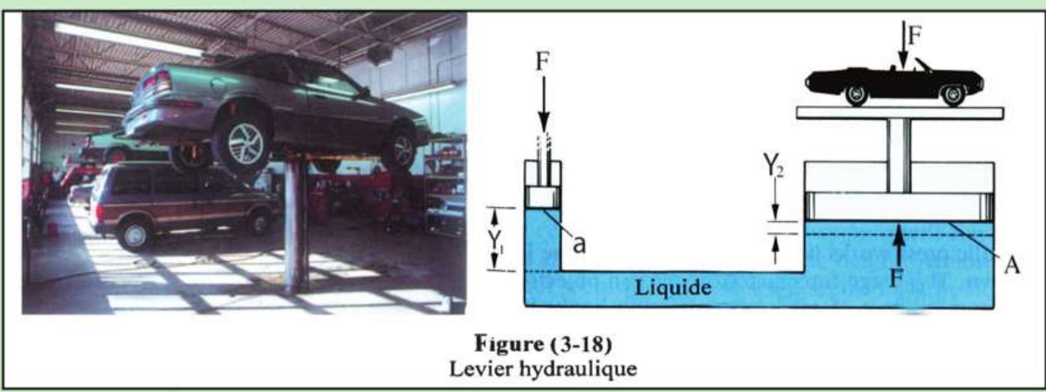


Figure (3-18)
Levier hydraulique

3. La foreuse hydraulique (ou chenille) utilise aussi le principe de Pascal.

Figure (3-19)
Foreuse hydraulique

4. Le scaphandrier porte un costume spécial de plongée et un casque pour le protéger des hautes pressions dans les grandes profondeurs.
A de petites profondeurs le plongeur souffle l'air dans ses narines fermées pour équilibrer la pression extérieure (figure 3-20)
A de grandes profondeurs, le costume de plongée du scaphandrier est gonflé d'air ce qui lui permet de diminuer sa masse volumique (figure 3-21).



Figure (3-20)
Plongée à une faible profondeur

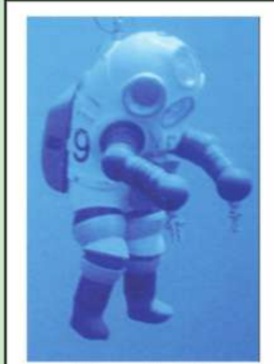


Figure (3-21)
Plongée à une grande profondeur (500 mètres)

Exemple :

Dans une presse hydraulique, une force de 100 N agit sur le petit piston d'aire de section 10 cm^2. Si l'aire de section du grand piston = 800 cm^2 et g = 10 m/s^2, calculer :

a) La masse maximale que l'on peut soulever sur le grand piston.

b) Le rendement de la presse.

c) La distance parcourue par le petit piston lorsque le grand piston se déplace de 1 cm.

Solution :

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A} \Rightarrow \frac{100}{10} = \frac{F}{800}$$

$$F = \frac{100}{10} \times 800 = 8\times10^3 \text{ N.}$$

a) La masse maximale qui peut être soulevé sur le grand piston : F = m g

$$m = \frac{F}{g} = \frac{8\times10^3}{10} = 800 \text{ kg}$$

b) Le rendement de la presse :

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} = \frac{800}{10} = 80$$

c) La distance parcourue par le petit piston :

$$f\,y_1 = F\,y_2 \Rightarrow 100 \times y_1 = 8 \times 10^3 \times 1$$

$$y_1 = \frac{800\times1}{100} = 80 \text{ cm.}$$

Exercices

I- Mettre ✓ devant la phrase correcte :

1. Les facteurs suivants influent sur la pression exercée sur le fond d'un récipient sauf:

a) La profondeur du liquide dans le récipient.
b) La m.v. du liquide.
c) L'accélération de la pesanteur.
d) La pression atmosphérique.
e) L'aire de la base du récipient.

2. Lequel des facteurs suivants n'influe pas sur la hauteur de la colonne de mercure dans le baromètre ?

a) La m.v. du mercure.
b) L'aire de section du tube.
c) la pression atmosphérique.
d) La température du mercure.

3. La pression de l'eau au fond du Haut Barrage, dépend de :

a) L'aire de la surface de l'eau.
b) La longueur du barrage.
c) La profondeur de l'eau.
d) L'épaisseur du mur du barrage.
e) La m.v. de la matière du mur.

4. Si le rapport des diamètres des deux pistons d'une presse hydraulique est 9:2, le rapport des forces sur les deux pistons (grand au petit) est :

a) 2 : 9
b) 9: 2
c) 18 : 4
d) 4 : 81
e) 81 : 4

II. Définir :

1. La masse volumique.
2. La pression en un point.
3. Le principe de Pascal.

III. Questions de cours:

1. Déduire que la pression P en un point au sein d'un liquide, à une profondeur h, est déterminée par la relation $P = P_a + \rho g h$ où Pa = la pression atmosphérique, ρ est la m.v. du liquide et g est l'accélération de la pesanteur.

2. Décrire le manomètre. Expliquer comment l'utiliser pour mesurer la pression d'un gaz enfermé dans un réservoir.

3. Que veut-on dire par "le principe de Pascal" ? Expliquer l'une de ses applications.

4. Un récipient contenant de l'eau et de l'huile est placé sur une table. On met un cube en bois sur la surface du liquide supérieur. Décrire ce qui se produit sur les deux liquides, le cube en bois, le fond du récipient et la table.

IV. Exercices :

1. Si la pression au fond d'un récipient cylindrique contenant de l'huile est 15×10^3 N/m^2, calculer la force totale agissant sur la base du récipient (diamètre de la base = 8m) (Réponse : $7,54\times10^4$ N)

2. La différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur d'un pneu de voiture est $3,039\times10^5$ N/m^2. Si la pression atmosphérique est $1,013\times10^5$ N/m^2, calculer la pression de l'air dans le pneu en atmosphère. (Réponse : 4 atm.)

3. L'aire de la base d'un aquarium est 1000 cm^2 et il renferme 4000 N d'eau. Calculer la pression de l'eau sur le fond de l'aquarium. (Réponse : 4×10^4 N/m^2)

4. Un morceau d'aluminium est suspendu à l'un des plateaux d'une balance. Sa masse est 250 g dans l'air, 160 g lorsqu'il est immergé dans l'eau et 180 g lorsqu'il est immergé dans l'alcool. Si la m.v. de l'eau est 1000 kg/m^3, calculer celle de l'alcool et celle de l'aluminium (g = 10 m/s^2) (Réponse : 777,8 kg/m^3 ; 2777,8 kg/m^3)

5. Si la pression atmosphérique à la surface d'un lac est 1 atm. et au fond du lac 3 atm. : Calculer la profondeur du lac. (m.v. de l'eau = 1000 kg/m^3, 1 atmosphère = $1{,}013\times10^5$ N/m^2, g = 9,8 m/s^2) (Réponse : 20,673 m)

6. Une personne porte un baromètre à mercure. Sa lecture au rez-de-chaussée est 76 cm Hg et sa lecture au haut d'un immeuble est 74,15 cm Hg. Si la hauteur de l'immeuble = 200 m, calculer la m.v. de l'air entre ces deux niveaux (m.v. du mercure = 13600 kg/m^3 et g = 9,8 m/s^2) (Réponse : 1,258 kg/m^3)

7. Un manomètre renferme du mercure. On le relie à un réservoir contenant un gaz. Si la différence de hauteur dans la colonne de mercure dans les deux branches est +25cm. Calculer la différence de pression en N/m^2 et la pression absolue du gaz emprisonné. (la pression atmosphérique = $1{,}013\times10^5$ N/m^2, g = 9,8 m/s^2) (Réponse : $0{,}3332\times10^5$ N/m^2 ; $1{,}3462\times10^5$ N/m^2)



Chapitre 4 : Propriétés des fluides en mouvement*

Chapitre 4

Propriétés des fluides en mouvement

Introduction :

Nous allons passer de l'étude des fluides statiques à celle des fluides en mouvement (hydrodynamique).

On distingue deux genres d'écoulement des fluides : l'écoulement laminaire et l'écoulement turbulent.

L'écoulement laminaire :

- Lorsqu'un liquide se déplace de manière à ce que ses couches adjacentes glissent doucement et facilement, on dit que ce liquide est en écoulement laminaire.

- Ce genre d'écoulement s'applique à chaque partie du liquide, qui prend une trajectoire continue, appelée « ligne d'écoulement ».

- On peut donc imaginer l'écoulement du liquide dans un tube en traçant l'ensemble des lignes d'écoulement qui représentent les trajectoires des diverses parties du liquide dans ce tube (figure 4 - 1)

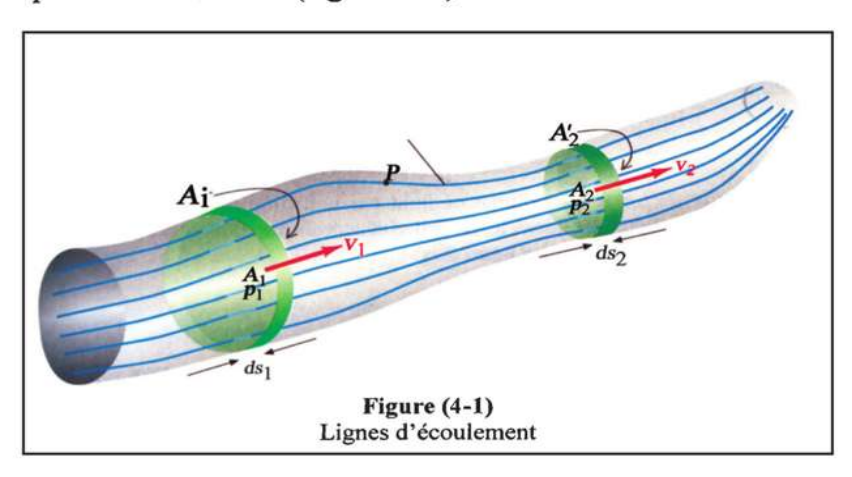


Figure (4-1)
Lignes d'écoulement

Les propriétés qui caractérisent les lignes d'écoulement sont :

a. Elles ne se coupent pas.

b. La tangente en un point quelconque sur la ligne d'écoulement détermine le sens de la vitesse d'une partie du liquide en ce point.

c. Le nombre de lignes d'écoulement traversant perpendiculairement l'unité de surface, entourant un point (densité des lignes) détermine la vitesse du liquide en ce point. Par suite les lignes d'écoulement sont serrées pour les grandes vitesses et écartées pour les petites vitesses.

Conditions de l'écoulement laminaire :

1. Le taux d'écoulement du liquide doit être constant sur toute sa trajectoire car le liquide est incompressible et sa masse volumique ne varie pas avec la distance ou le temps.
2. Dans l'écoulement laminaire, la vitesse du liquide en chaque point ne varie pas avec le temps.
3. L'écoulement n'est pas turbulent c.à.d. qu'il ne contient pas de tourbillons.
4. Il n'existe pas de forces de frottement influente entre les couches du liquide.

L'écoulement turbulent :

• Lorsque la vitesse du liquide dépasse une certaine limite, l'écoulement laminaire se transforme en écoulement turbulent caractérisé par la présence de petits tourbillons circulaires (figure 4-2). Ce phénomène s'applique aussi aux gaz.

Lorsqu'un gaz se propage d'une région étroite à une autre plus large ou d'une région ayant une grande pression à une autre de faible pression, son écoulement devient turbulent (figure 4-3).

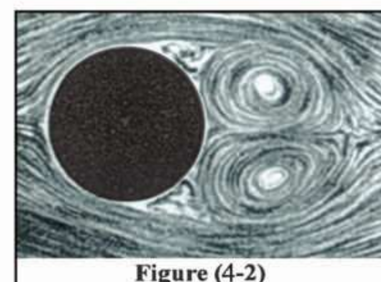


Figure (4-2)
Tourbillons dus à un écoulement vigoureux ou au mouvement rapide d'un corps dans le liquide



Figure (4-3)
Le mouvement de la fumée passe d'un régime laminaire à un autre turbulent

Taux d'écoulement et équation de continuité :

Nous allons limiter notre étude à l'écoulement laminaire d'un liquide dans un tube, qui a les propriétés suivantes :

1. Le liquide doit remplir totalement le tube.
2. La quantité de liquide entrant par l'une des extrémités du tube doit être égale à celle sortant par l'autre extrémité pendant le même temps, car le liquide est incompressible.
3. La vitesse du liquide en un point quelconque ne varie pas avec le temps.

Equation de continuité :

On choisit deux plans perpendiculaires aux lignes d'écoulement en A et B (figure 4-4). L'aire de section du premier plan est A_1 et celle du second est A_2.

Le volume du liquide qui s'écoule à travers la surface A_1 par unité de temps (débit volumique) $Q_V = A_1\ v_1$ (v_1 est la vitesse du liquide en A_1). La débit massique ou la masse du liquide qui s'écoule par unité de temps, sera :

$Q_m = \rho\ Q_V = \rho\ A_1\ v_1$

De même, le débit massique en A_2 est :

$Q_m = \rho\, Q_V = \rho\, A_2\, v_2$

Puisque le taux d'écoulement laminaire est constant, on a $\rho\, A_1\, v_1 = \rho\, A_2\, v_2$ (4 – 1)

D'où : $A_1\, v_1 = A_2\, v_2$ qui est "l'équation de contin uité" figure (4-4)

Où $\boxed{\dfrac{v_1}{v_2} = \dfrac{A_2}{A_1}}$

C.à.d. $v \propto \dfrac{1}{A}$

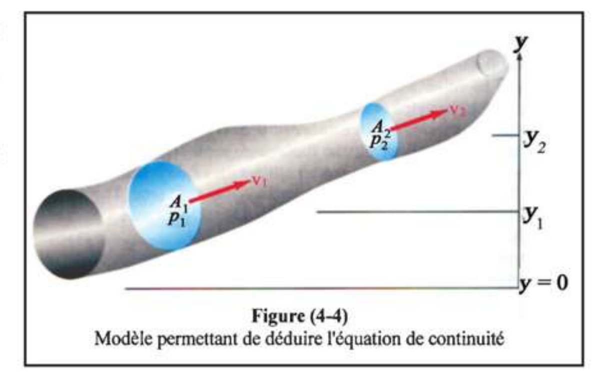


Figure (4-4)
Modèle permettant de déduire l'équation de continuité

De cette relation, on peut déduire que la vitesse du liquide en un point quelconque du tube est inversement proportionnelle à l'aire de section du tube en ce point. Le liquide s'écoule lentement dans le tube lorsque sa section est grande et il s'écoule rapidement lorsque sa section est petite figure (4-5) .

• Pour mieux comprendre l'équation de continuité, imaginons une petite masse d'un liquide Δm.

$\Delta m = \rho\,.\,\Delta V$ et $\Delta V = A_1\,.\,\Delta x_1$

où Δx_1 est la distance parcourue par le liquide en un temps Δt

$\therefore\ \Delta x_1 = v_1\, \Delta t$

Ainsi $\Delta V = A_1\,.\,v_1\,.\,\Delta t$

• Ce même volume doit se déplacer vers l'autre côté du tube car le liquide est incompressible. Par suite $\Delta V = A_2.v_2.\,\Delta t$

• Le taux d'écoulement volumique Q_V (m^3/s) ainsi que le taux d'écoulement massique Q_m (kg/s) sont constants dans un écoulement laminaire, pour n'importe quelle aire de section.

• Ceci est en accord avec la loi de conservation de la masse ce qui nous amène à l'équation de continuité.

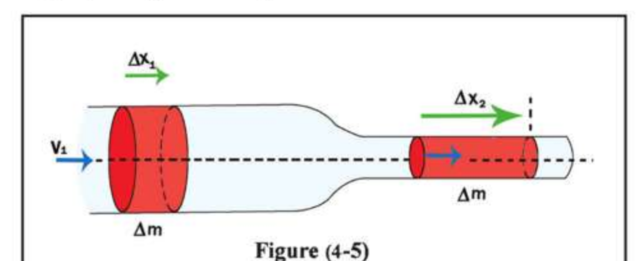


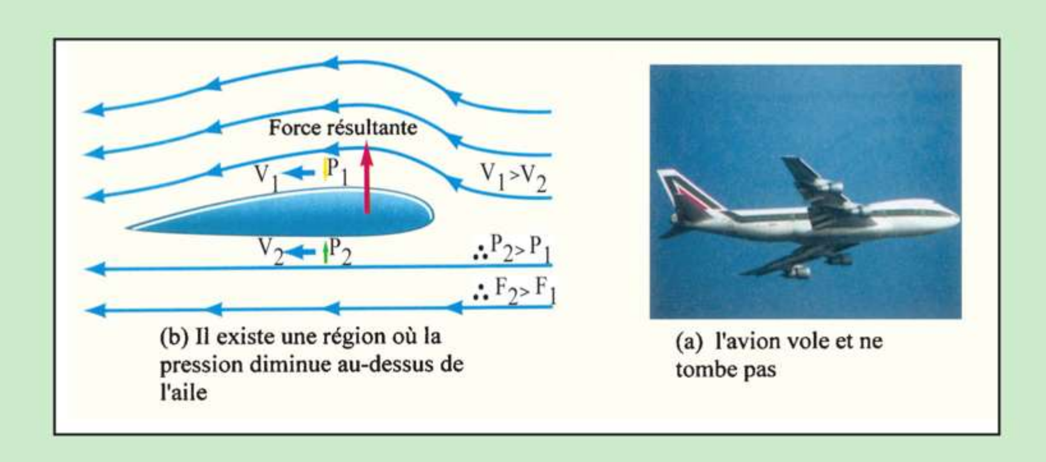
Figure (4-5)
Principe de l'équation de continuité

Enrichissons nos connaissances :

Pourquoi l'avion vole et ne tombe pas?

Le mouvement de l'avion engendre une région au-dessus des ailes où la pression est inférieure à celle de la région au-dessous. Cette différence de pression engendre une force portante vers le haut qui s'équilibre avec le poids de l'avion (figure 4-7)

Cette différence de pression est un phénomène basé sur "l'effet Bernoulli"



(b) Il existe une région où la pression diminue au-dessus de l'aile

(a) l'avion vole et ne tombe pas

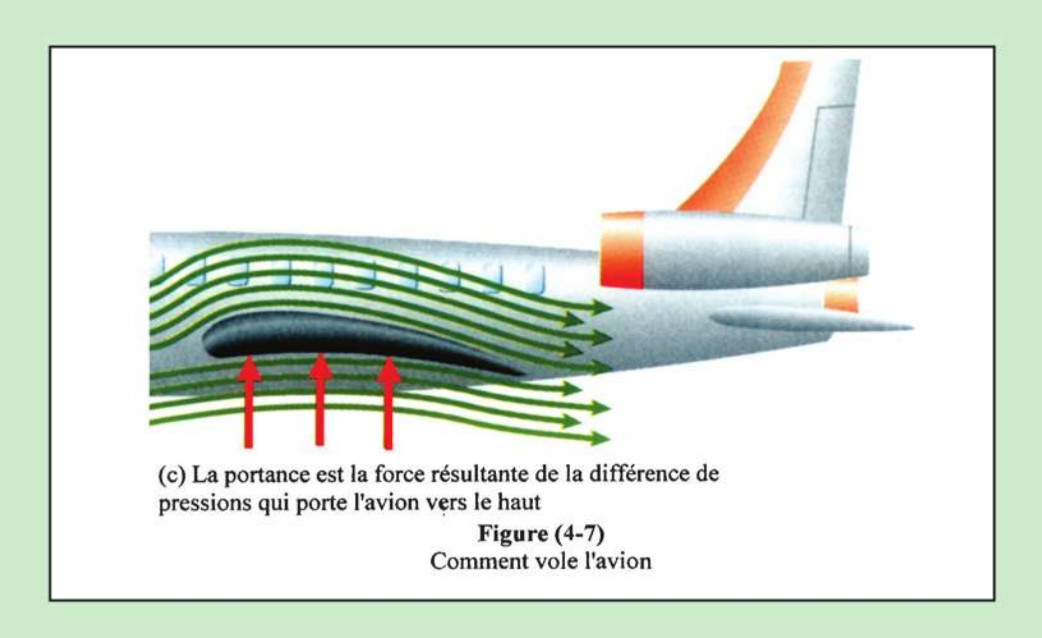

(c) La portance est la force résultante de la différence de pressions qui porte l'avion vers le haut

Figure (4-7)
Comment vole l'avion

Enrichissons nos connaissances :

Circulation du sang dans le corps humain:

- Le système circulatoire est composé d'un énorme réseau de vaisseaux sanguins formé d'artères, de veines et de capillaires (figure 4-8).

- Le cœur pompe le sang dans ce réseau à un taux de 5 litres par minute ou $8{,}33\times10^{-5}$ m^3/s ou au rythme de 70 pulsations par minute dans le cas normal.

Ce taux peut atteindre 25 litres par minute (ou 180 pulsations par minute) en cas de grande activité.

- En calculant la vitesse d'écoulement du sang dans l'aorte (diamètre 2 cm) on trouve que la vitesse du sang est 26,5 cm/s (calculez vous-même).

Si l'on additionne tous les capillaires, on trouve que l'aire totale de leurs sections est égale à 0,25 m^2. (Combien sera la vitesse du sang dans chaque capillaire ?)

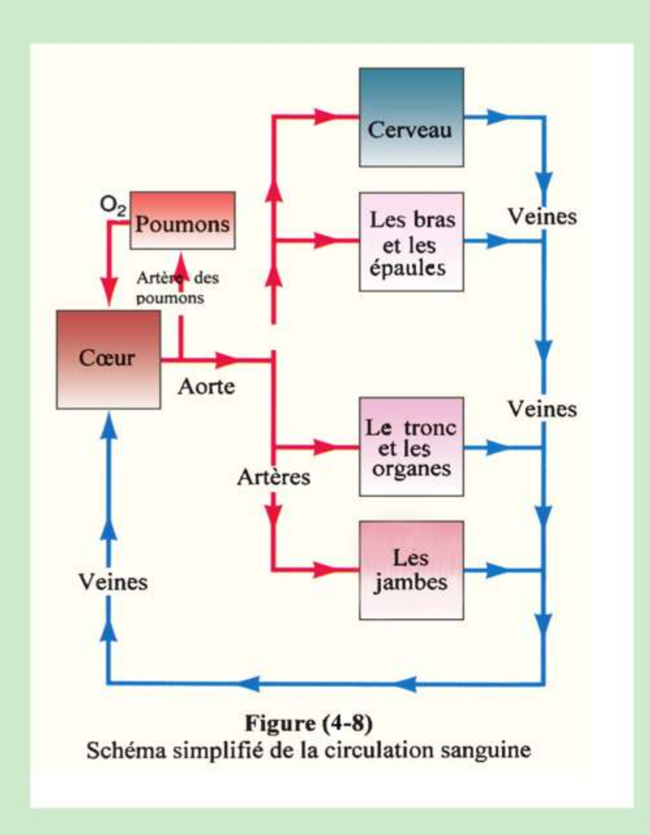


Figure (4-8)
Schéma simplifié de la circulation sanguine

Enrichissons nos connaissances :

L'artériosclérose :

- Le corps contrôle l'écoulement du sang dans les artères au moyen de muscles situés dans les parois de ces artères.
- Lorsque ces muscles se contractent, le diamètre des artères diminue et la vitesse du sang augmente (Equation de continuité 5-1)
- Par contre lorsque ces muscles se relâchent, la vitesse du sang diminue.
- Avec l'âge, les muscles de ces artères perdent leur élasticité, ce qui cause l'artériosclérose qui est une maladie où le contrôle de l'écoulement du sang diminue;
- Avec l'augmentation de déposition d'une couche de graisse sur les parois, le diamètre des vaisseaux sanguins diminue ce qui augmente la probabilité de coagulation du sang qui bloque ainsi son écoulement. Ceci peut causer alors une angine de poitrine.
- Habituellement le malade prend des médicaments pour diluer le sang et empêcher sa coagulation mais si la dose qu'il prend est très grande cela peut provoquer une hémorragie.
- Les plaquettes sanguines qui sont l'un des constituants du sang permettent sa coagulation.
- Ainsi la viscosité du sang et sa composition ont un rôle important dans la vie humaine.

Enrichissons nos connaissances :

La mesure de la pression sanguine :

- La mesure de la pression sanguine est l'un des moyens utilisés pour déterminer l'état du cœur.
- Le sphygmomanomètre est un type de manomètre (figure 5-9). Il est constitué d'une bande en forme d'un sac à air qu'on entoure sur le bras du malade.

On utilise une pompe à main pour gonfler le sac. La pression du sac est mesurée au moyen d'un manomètre à mercure.

On augmente la pression dans le sac jusqu'à l'arrêt de l'écoulement du sang dans l'artère brachiale. Cet arrêt est déterminé à l'aide du stéthoscope.

- On diminue graduellement la pression dans le sac jusqu'à une valeur suffisante permettant au cœur de pomper à nouveau le sang dans l'artère.

• Pendant l'ouverture graduelle de l'artère, l'écoulement du sang est turbulent produisant un son que le médecin peut entendre à l'aide du stéthoscope. Au moyen du manomètre, il mesure la pression du sang à cet instant. Cette pression est donnée en mm Hg. On l'appelle pression systolique, qui pour un adulte normal est de 120 mm Hg.



Figure (4-9)
La mesure de la pression sanguine

• En diminuant davantage la pression dans le sac on continue a entendre le son qui faiblit graduellement jusqu'à disparaître lorsque la pression du sac s'égalise avec la pression diastolique du cœur, car à cet instant l'artère est complètement ouverte et l'écoulement du sang devient laminaire.

• A l'aide du manomètre on mesure cette pression, qui, pour une personne normale est d'environ 80 mm Hg.

• Si la pression systolique est supérieure à 150 mm Hg le malade souffre d'une hypertension qui peut causer une rupture dans les artères du cerveau et mener à un "coup de sang".

• Si la pression diastolique est supérieure à 90 mm Hg ceci indique une pression élevée du sang qui cause une détérioration des muscles du cœur car elle représente un effort supplémentaire sur celui-ci au moment où théoriquement il devait être en état de relaxation.

Enrichissons nos connaissances :

Les pompes :

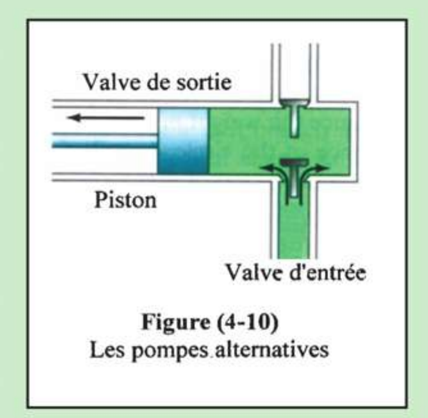


Figure (4-10)
Les pompes alternatives

- D'après leurs fonctions, les pompes sont divisées en plusieurs catégories.

- Une "pompe aspirante" qui fait le vi de en diminuant graduellement la pression de l'air dans un récipient scellé par un anneau en caoutchouc.

- Une "pompe foulante" qui augmente la pression pour soulever un liquide : comme soulever l'eau d'ùn puits ou pousser un liquide dans un tube.

- La "pompe à piston" : (comme celle de la bicyclette). Dans la figure (4-10) en se déplaçant vers la gauche, le piston ouvre la valve d'entrée, ce qui remplit d'air ou de liquide l'espace situé derrière le piston. Lorsque le piston se déplace vers la droite la val ve de sortie s'ouvre, ce qui permet à l'air ou au liquide de sortir. Le cœur fonctionne comme une pompe à piston (figure 4-11).

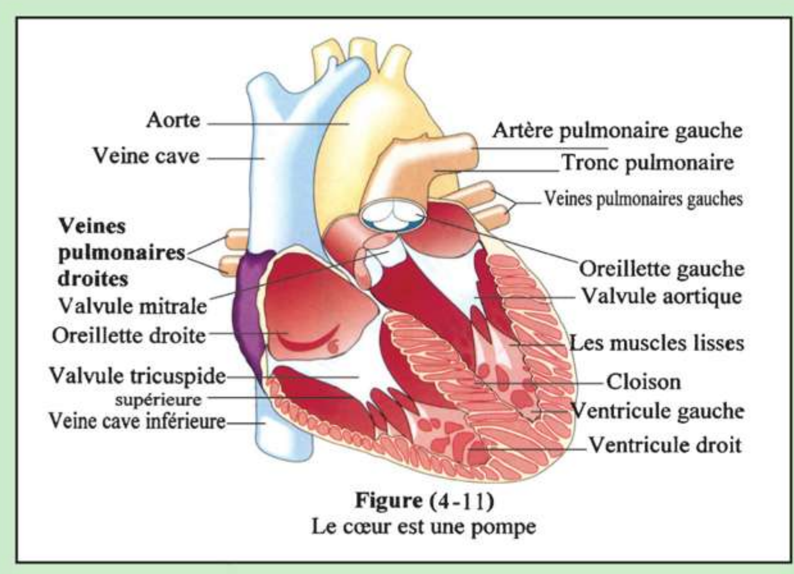


Figure (4-11)
Le cœur est une pompe

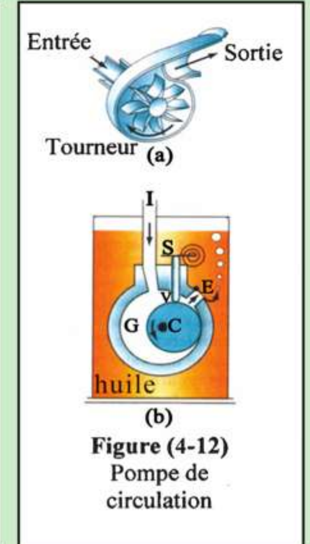


Figure (4-12)
Pompe de circulation

- La "pompe de circulation" (figure 4-12) qui pousse l' air ou le liquide dans un circuit, comme celui utilisé dans le système de refroidissement de l'eau ou de l'huile dans une voiture.

- La "pompe centrifugeuse", dans laquelle des palettes tournent et chassent le liquide ou l'air vers l'extérieur. L'aspirateur électrique est un exemple de ce genre.

Exemples :

1. Un tuyau d'eau pénètre dans une maison avec un diamètre de 2cm. La vitesse d'écoulement de l'eau dans celui-ci est égale à 0,1 m/s. A la sortie, le diamètre du tube devient 1 cm. Calculer :

a) La vitesse de l'eau dans la partie étroite.

b) La quantité d'eau (volume et masse) qui s'écoule, par minute, à travers une section quelconque du tube. (ρ_{eau} = 1000 kg/m^3)

Solution :

a) $A_1 v_1 = A_2 v_2$

$\pi (0,01)^2 (0,1) = \pi (0,005)^2 v_2$

$$v_2 = \frac{\pi \times 10^{-4} \times 0,1}{\pi \times 2,5 \times 10^{-5}} = 0,4 \text{ m/s}$$

b) Le débit volumique :

$Q_V = A_1 v_1 = A_2 v_2$

$= \pi \times 10^{-4} \times 0,1 = \pi \times 2,5 \times 0,4 = 3,14 \times 10^{-5}$ m^3/s

Le débit en m^3/min :

$V = Q \times 60 = 3,14 \times 10^{-5} \times 60 = 188,4 \times 10^{-5}$ m^3/s

Le débit massique :

$Q_m = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$

$= 3,14 \times 10^{-5} \times 10^3 = 3,14 \times 10^{-2}$ kg/s

Le débit massique en kg/min

$M = 3,14 \times 10^{-2} \times 60 = 1,884$ kg/min.

2. La vitesse moyenne d'écoulement du sang dans l'aorte (rayon = 0,7 cm) d'une personne adulte est de 0,33 m/s. De l'aorte, le sang est distribué sur les 30 artères principales (rayon de chacune = 0,35 cm). Calculer la vitesse d'écoulement du sang dans chacune de ces artères.

Solution :

L'aire de section de l'aorte = $A_1 = \pi r^2_1 = \pi \times (0,007)^2$ m^2

L'aire de section des 30 artères = $A_2 = \pi r^2_2 \times 30 = \pi \times (0,0035)^2 \times 30$ m^2

$A_1 v_1 = A_2 v_2$

$\therefore \; \pi \times (0,007)^2 \times 0,033 = \pi \times (0,0035)^2 \times 30 \times v_2$

$$v_2 = \frac{4 \times 0,33}{30} = 0,044 \text{ m/s}$$

Par suite la vitesse du sang dans les artères $v_2 = 0.044 m/\Delta$ est beaucoup plus faible que celle dans l'aorte $v_1 = 0.33 m/s$. Elle devient encore plus petite dans les capillaires, ce qui facilite les opérations d'échange gazeux entre l'oxygène et le dioxyde de carbone dans les tissus ainsi que l'échange des matières nutritives.

La viscosité :

1. Fixons deux entonnoirs identiques au dessus de deux récipients semblables, versons dans l'un des entonnoirs un volume déterminé d'alcool, et dans l'autre un même volume de glycérine. On remarque que la vitesse d'écoulement de l'alcool est beaucoup plus grande que celle de la glycérine. On dit que la capacité d'écoulement de l'alcool est supérieure à celle de la glycérine.

2. Mettons dans un récipient un certain volume d'eau et dans un autre récipient semblable, un même volume de miel.
Agitons les liquides dans chaque récipient, avec une tige en verre. Dans l'un des liquides, le mouvement de la tige est plus facile. Puis retirans le bâton et remarquons le mouvement du liquide. Nous constatons que l'eau se déplace beaucoup plus facilement que le miel et que le mouvement de celui-ci s'arrête très vite après la sortie du bâton. Cela signifie que la résistance de l'eau est beaucoup plus faible que celle du miel.

3. Prenons deux longues éprouvettes identiques. Remplissons totalement l'une d'eau et l'autre de glycérine. Posons délicatement une boule métallique (en acier par exemple) sur la surface de l'eau et déterminons avec un chronomètre le temps nécessaire pour que la sphère arrive au fond de l'éprouvette.
Posons une autre boule identique à la première sur la surface de la glycérine et déterminons aussi le temps nécessaire pour que la sphère arrive au fond du récipient.
On constate que le temps mis par la première boule pour atteindre le fond du récipient est inférieur à celui de l'autre.
Donc la résistance de la glycérine au mouvement de la boule est plus grande que celle de l'eau.

Conclusion :

1) Certains liquides, comme l'eau et l'alcool ont une grande facilité d'écoulement et de mouvement, et leur résistance au mouvement des corps à travers eux est très faible. C.à.d. que leur viscosité est faible.

2) D'autres liquides comme le miel et la glycérine ont une faible facilité d'écoulement et de mouvement et leur résistance au mouvement des corps à travers eux est très grande. C.à.d. que leur viscosité est grande.

Interprétation du phénomène de la viscosité :

observons le comportement d'un lipuide placé entre deux plaques de surface plane, .L'une d'entre elles est au repos tandis que l'autre se déplace avec une vitesse v (figure 4-6). Se déplace.

- Le liquide en contact avec la plaque immobile est immobile.

Le liquide en contact avec la plaque mobile est en mouvement avec la même vitesse v.

- Le liquide entre les deux plaques se déplace avec des vitesses allant de 0 à v, allant de la plaque immobile à la plaque mobile. Ainsi le liquide se déplace sur des couches différentes de sorte que la vitesse de chaque couche soit inférieure à celle de la couche au-dessus d'elle.

(a)

(a) Force tangentielle agissant sur la surface libre du liquide

(b)

(b) Les couches du liquide glissent les unes sur les autres

Figure (4-6)
Le frottement entre les couches du liquide

- Cette différence de vitesse est due à :

L'existence de forces de friction entre la surface de la plaque immobile et la couche de liquide en contact. Ces forces sont des forces d'adhérence entre les molécules du solide et celles du liquide en contact, ce qui empêche son écoulement.

Pour la même raison, la couche supérieure du liquide se déplace avec la même vitesse v que celle de la plaque mobile.

- L'existence de forces de friction entre chaque couche du liquide et la couche au-dessus d'elle. Ce sont des forces de cohésion qui engendrent une résistance au glissement des couches adjacentes. Ainsi se produit une différence de vitesse entre chaque couche et celle au-dessus d'elle.

Ce genre d'écoulement est dit visqueux.

Conclusion :

La viscosité est la propriété qui produit une résistance ou une friction entre les diverses couches d'un liquide, ce qui les empêche de glisser facilement les unes sur les autres.

Le coefficient de viscosité (η_{vs}) :

Pour que la plaque mobile garde sa vitesse v constante, on a démontré expérimentalement qu'il faut exercer une force F (figure 5-6) telle que F est directement proportionnelle à la vitesse v, à l'aire A de la plaque et inversement proportionnelle à la distance d qui sépare les deux plaques.

$$F \propto \frac{Av}{d}$$

$$F = \eta_{vs} \frac{Av}{d}$$

η_{vs} est la constante de proportionnalité appelée le coefficient de viscosité du liquide.

$$\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av} = \frac{F}{A(v/d)} \quad (\text{kg/ms} \;\; \text{ou} \;\; \text{N s/m}^2)$$

Définition :

Le coefficient de viscosité d'un liquide :

C'est la force tangentielle agissant sur une couche de liquide de 1 unité d'aire et qui produit entre cette couche et une autre qui lui est parallèle et distante d'une unité, une différence de vitesse de 1 unité.

Application de la viscosité :

a) Lubrification ou graissage :

Dans les machines, il faut lubrifier de temps à autre les parties métalliques en contact, pour les raisons suivantes :

- Diminuer la quantité de chaleur engendrée par le frottement.
- Protéger ces parties contre l'érosion.

La lubrification se fait en utilisant des huiles de grande viscosité. Si l'on utilise l'eau (de très faible viscosité) elle s'écoulera rapidement loin des pièce de la machine à cause de sa faible force d'adhérence.

En revanche, les liquides très visqueux ont un grand pouvoir d'adhérence avec les pièces de la machine et s'écoulent lentement durant leur mouvement.

b) Véhicules mobiles :

Lorsque la vitesse d'une voiture est maximale, la majorité du travail fourni par le moteur, qui est obtenu par la combustion de l'essence sera utilisée pour vaincre la résistance de l'air au mouvement de la voiture. Aux vitesses faibles ou moyennes, la résistance de l'air engendrée par sa viscosité est proportionnelle à la vitesse de la voiture.

Lorsque la vitesse de la voiture dépasse une certaine limite, la résistance est directement proportionnelle au carré de la vitesse de la voiture. Ce qui veut dire que la consommation d'essence augmente énormément avec l'augmentation de la vitesse au dessus de cette limite. C'est pour cette raison qu'un bon conducteur de voiture ne doit pas dépasser cette vitesse limite pour économiser l'essence.

c) En médecine : Vitesse de sédimentation (ou de précipitation) :

- Nous savons qu'une boule qui tombe verticalement dans un liquide est soumise à trois forces verticales : son poids (vers le bas), la force de poussée du liquide (vers le haut) et la force de friction (vers le haut) qui est engendrée par la viscosité du liquide.

- La résultante de ces trois forces donne à la boule une vitesse finale qui augmente avec son rayon.

- En médecine, on mesure la vitesse de sédimentation, c.à.d. la vitesse finale des globules rouges du sang lorsqu'ils tombent dans le plasma.
Ainsi le médecin peut déterminer le volume de ces globules pour diagnostiquer certaines maladies.

- Si la personne est atteinte de fièvre rhumatismale, la vitesse de sédimentation augmente et devient supérieure à la normale car les globules rouges adhèrent les uns aux autres, ce qui augmente leur volume et leur rayon.

- Si la personne est atteinte d'anémie, la vitesse de sédimentation diminue par rapport à la normale, car les globules rouges se brisent ce qui diminue leur volume et leur rayon.

Enrichissons nos connaissances :

Le principe du siphon :

Est-ce qu'un liquide peut s'élever ?

• En aspirant l'air d'un tuyau immergé dans un liquide, celui-ci s'élève jusqu'à une certaine distance puis il s'écoule vers le bas (figure 4-13)

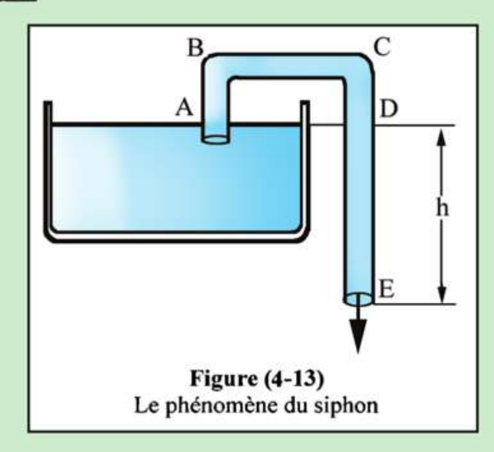


Figure (4-13)
Le phénomène du siphon

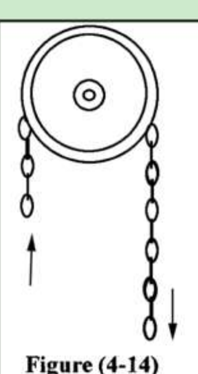
• On remarque ce phénomène lorsqu'on aspire l'essence du réservoir d'une voiture à l'aide d'un tube en caoutchouc, celui-ci s'élève jusqu'à une certaine hauteur puis il tombe à l'extérieur et continue son écoulement malgré l'attraction terrestre.

Ceci est le phénomène du siphon, son interprétation est que les molécules du liquide s'attirent comme les maillons d'une chaîne (figure 4-14).

Les molécules peuvent ainsi s'élever sur une certaine distance contre l'attraction terrestre puis elles tombent.

• La tension superficielle est l'une des propriétés des liquides où les molécules de sa surface sont attirées vers l'intérieur. Ainsi la surface du liquide apparaît comme une membrane tendue.

• Ce même phénomène s'applique sur la formation des bulles d'air où s'équilibre la pression interne avec la pression externe et la tension superficielle, donc la bulle n'éclate que lorsque cet équilibre est rompu.


Figure (4-14)
Les particules du liquide s'attirent les unes les autres.

• La capillarité est l'une des propriétés des liquides où les molécules d'un tube très mince attirent les molécules du liquide vers le haut par des forces d'adhérence.

La surface du liquide se courbe grâce à la tension superficielle et s'élève à l'intérieur du tube.

• Utilisant cette propriété, les plantes attirent l'eau qui s'élève dans ses tubes capillaires pour absorber les matières nutritives du sol afin qu'elles arrivent aux feuilles élevées.

Résumé

A. Définitions et concepts fondamentaux :

1. Le fluide :

C'est toute matière capable de s'écouler et qui ne possède pas de forme déterminée.

2. L'écoulement d'un liquide dans un tube est laminaire si :

a. Le liquide remplit totalement le tube.

b. La quantité de liquide entrant par l'une des extrémités est égale à celle sortant par l'autre extrémité pendant le même temps.

3. La viscosité :

C'est la propriété qui produit une résistance ou une friction entre les diverses couches du liquide et qui les empêche de glisser facilement les unes sur les autres.

4. Le coefficient de viscosité :

C'est la force tangentielle agissant sur une couche de liquide de 1 unité d'aire et qui produit entre cette couche et une autre qui lui est parallèle et distante d'une unité, une différence de vitesse de 1 unité.

B. Les formules et les relations importantes :

1. Le volume du liquide qui s'écoule avec une vitesse v à travers la surface A, par unité de temps est $Q_V = A\ v$.

2. L'équation de continuité : $A_1\ v_1 = A_2\ v_2$.

3. Le coefficient de viscosité $(\eta_{vs}) = \dfrac{Fd}{Av}$

Où F est la force tangentielle entre deux couches l'une mobile et l'autre immobile, v est la vitesse de la couche mobile, A est l'aire de la couche mobile et d est la distance entre les deux couches.

Questions et exercices :

I. Définir :

a) le fluide
b) la viscosité
c) le coefficient de viscosité

II. Questions de cours :

1. Montrer que la vitesse du fluide en un point quelconque du tube est inversement proportionnelle à l'aire de la section du tube en ce point.
2. Expliquer le phénomène de la viscosité.
3. Donner et expliquer quelques applications du phénomène de la viscosité.

III. Exercices :

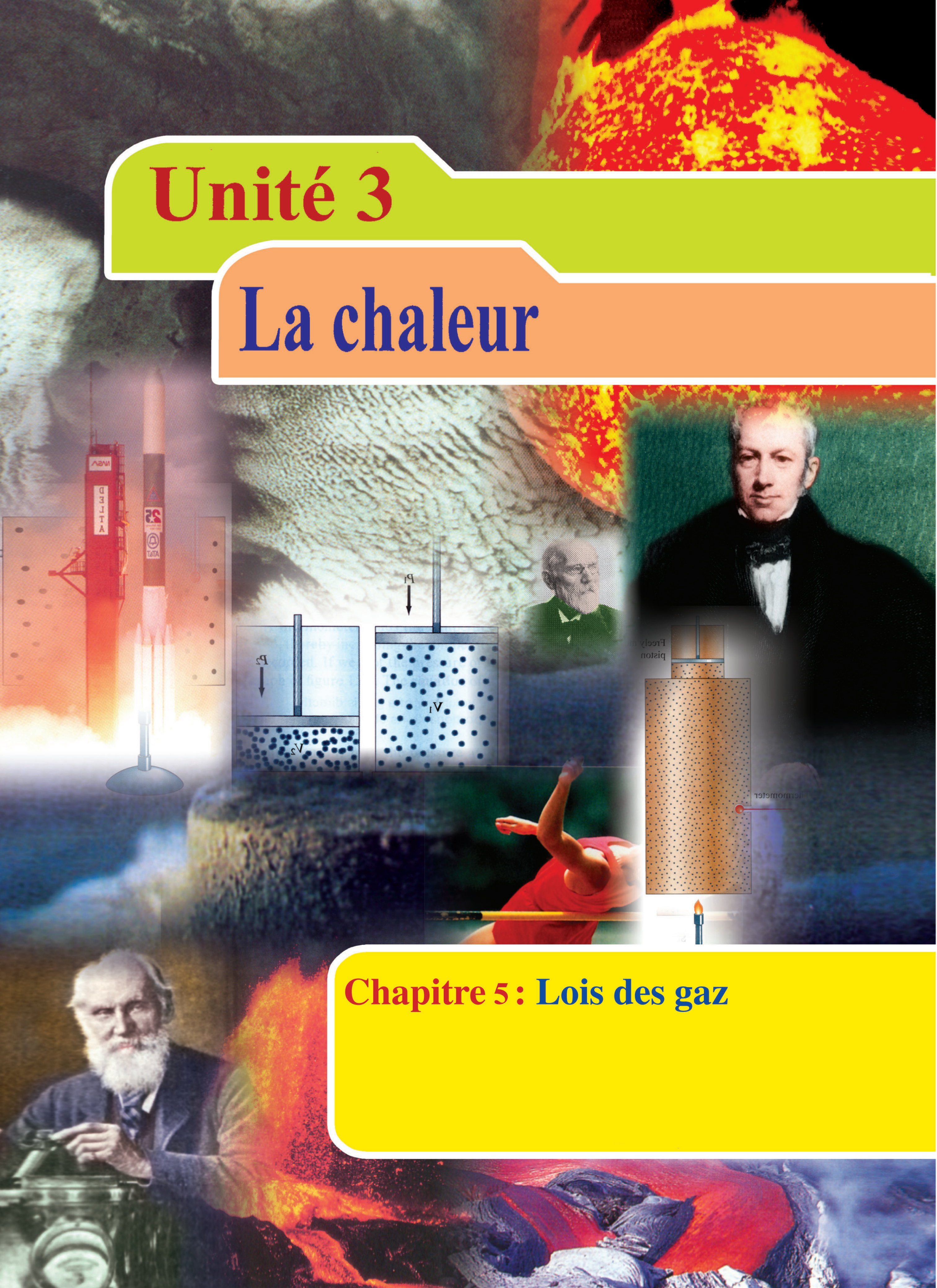
1. De l'eau s'écoule dans un tube horizontal avec un débit volumique constant de 0,002 m^3/s. Calculer la vitesse de l'eau à travers une section du tube d'aire 1 cm^2. (Réponse : 20 m/s).

2. De l'eau passe dans un tube de diamètre 1,2 cm avec une vitesse de 3 m/s. Calculer le diamètre de son ouverture si la vitesse de sortie de l'eau par cette ouverture est 27 m/s. (Réponse 0,4 cm)

3. Une artère principale alimente 80 capillaires ayant chacun un rayon de 0,1 mm. Si le rayon de l'artère est 0,035 cm et que la vitesse du sang dans celle-ci est 0,044 m/s, calculer la vitesse du sang dans chaque capillaire. (Réponse : 0,0067 m/s).

4. L'aire de section d'un tube en un point A est de 10 cm^2 et en point B de 2 cm^2. Si la vitesse de l'eau en A est 12 m/s, calculer sa vitesse en B. (Réponse : 60 m/s)

5. L'aire de section d'un tuyau qui pénètre au rez-de-chaussée d'une maison est de 4×10^{-4} m^2. La vitesse de l'eau dans cette section est de 2 m/s. Le tuyau se rétrécit à l'étage supérieur et l'aire de sa section devient 2×10^{-4} m^2. Calculer la vitesse de l'eau à l'étage supérieur. (Réponse : 4m/s)


Unité 3
La chaleur
Chapitre 5 : Lois des gaz

Unité 3

La chaleur



Chapitre 5 : Lois des gaz

Unité 3 : La chaleur

Chapitre 5

Les lois des gaz

Introduction :

• Les molécules des gaz sont dans un état perpétuel de mouvement aléatoire, dans toutes les directions. On peut le démontrer de la manière suivante :

• Faisons passer de la fumée venant d'une bougie, à l'intérieur d'une caisse en verre à l'aide d'une poire en caoutchouc. Eclairons fortement la caisse. On peut, avec un microscope, voir les particules de carbone qui composent la fumée se déplacer dans toutes les directions, avec un mouvement aléatoire.

• Ce mouvement est appelé mouvement brownien, du nom du botaniste anglais Brown. Il a, le premier, découvert en 1827, que les grains de pollen en suspension dans l'eau sont toujours dans un état de mouvement aléatoire.

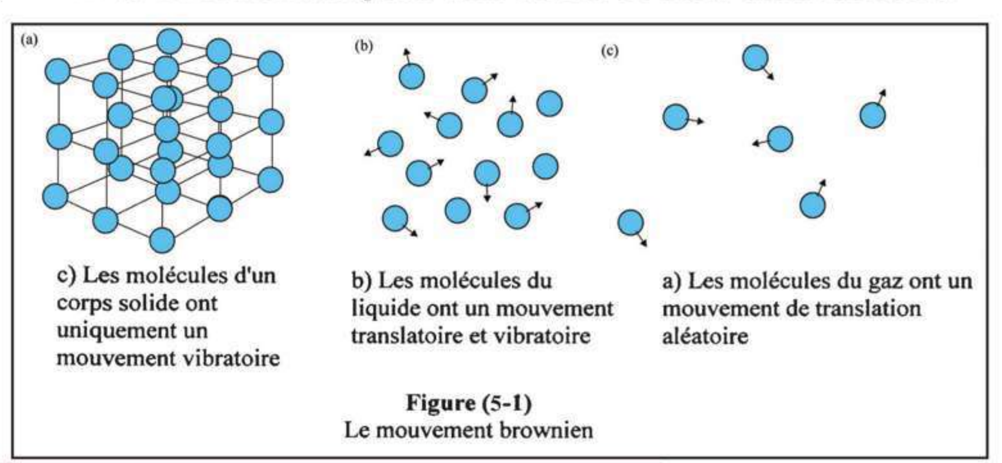


Figure (5-1)
Le mouvement brownien

Interprétation du mouvement brownien :

• Les molécules de l'air (ou des gaz) doivent être en mouvement avec des vitesses différentes dans toutes les directions et d'une manière aléatoire. Pendant leur mouvement, il se produit des chocs entre elles et aussi avec les particules de carbone qui composent la fumée . Lorsque le nombre de chocs sur l'un des côtés de la particule de carbone, à un moment donné, est plus grand que le nombre de chocs sur le côté opposé, cette particule se déplace dans le sens du choc le plus fort sur une petite distance, jusqu'au choc suivant.

Conclusion : Les molécules des gaz sont dans un mouvement aléatoire continuel. Durant leur mouvement, les molécules se heurtent entre elles et elles heurtent les parois du récipient qui les contient.

Les espaces intermoléculaires :

La présence d'espaces intermolécu1aires peut être démontrer par l'expérience suivante :

• Prenons une éprouvette remplie de gaz ammoniac et renversons-la sur une autre remplie de chlorure d'hydrogène (figure 5-2). On remarque la formation d'une fumée blanche de chlorur e d'ammonium, qui augmente, et se propage jusqu'à remplir les deux cylindres.

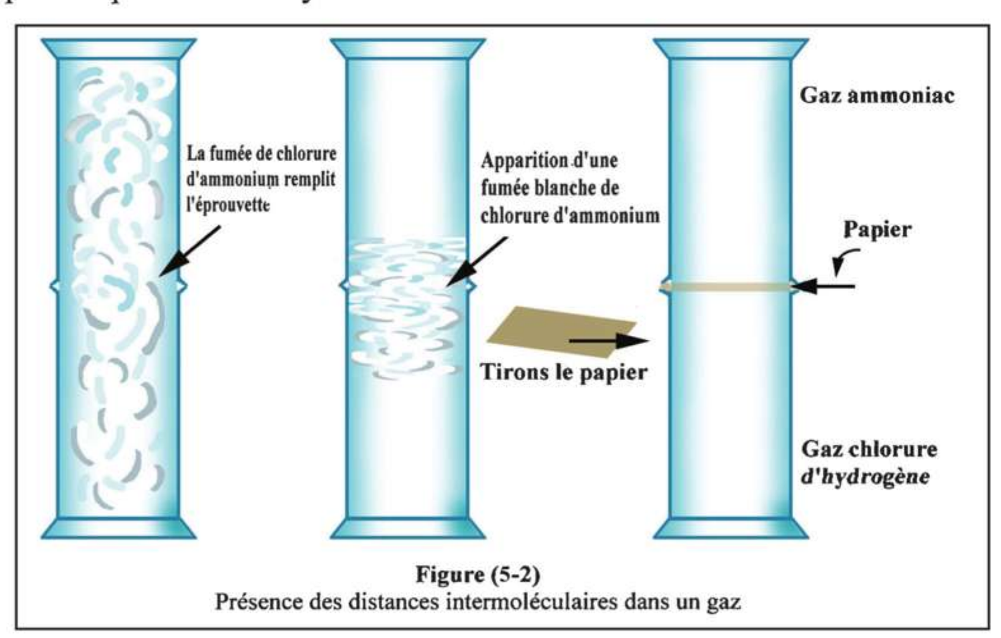


Figure (5-2)
Présence des distances intermoléculaires dans un gaz

Interprétation :

• Les molécules du chlorure d'hydrogène, bien que leur m.v. soit plus grande que celle de l'ammoniac, se propagent vers le haut en traversant les espaces intermoléculaires entre les molécules du gaz ammoniac.
Elles s'unissent alors avec elles pour former le chlorure d'ammonium dont les molécules se propagent pour remplir l'éprouvette supérieure.

• De la même manière les molécules du gaz ammoniac se propagent vers le bas bien que leur m.v. soit plus petite, en traversant les espaces intermoléculaires des molécules du chlorure d'hydrogène.
Elles s'unissent alors avec elles pour former les molécules de chlorure d'ammonium qui se propagent pour remplir le cylindre inférieur.

Conclusion :

Entre les molécules des gaz, il existe des espaces vides, relativement grands, appelés espaces intermoléculaires.
C'est ce qui explique pourquoi un gaz est compressible. Lorsque la pression augmente, les molécules se rapprochent les unes des autres, ce qui diminue le volume occupé par le gaz.

Lois des gaz :

Les variables :

• L'étude de la dilatation d'un gaz est compliquée car le volume du gaz varie avec la pression ou la température ou les deux ensemble. Cette difficulté n'apparaît pas dans les solides ou les liquides, car leur compressibilité est tellement faible qu'on peut la négliger.

• Ce qui fait que pour etudier le comportement d'un gaz , il faut prendre en considérotion trois facfteurs : le volume V, la pression P et la température T.

• Pour cela il faut effectuer trois expériences séparées chaque experience étudier deux facteurs en mainteenant le troisiéme facteur constant deux à deux.

1ère expérience :

Relation entre V et P à T constante. (Loi de Boyle)

2ème expérience :

Relation entre V et T sous P constante. (Loi de Charles)

3ème expérience :

Relation entre P et T sous V constant. (Loi de la pression)

1. Relation entre le volume d'un gaz et sa pression à température constante (loi de Boyle).

Pour étudier cette r elation on utilise l'appareil de la figure (5-3). Il est formé d'un tube en verre A dont la graduation commence par le haut. Ce tube est relié à un autre B en verre, par un tuyau en caoutchouc. Les deux tubes renferment une quantité convenable de mercure. Ils sont soutenus par un support vertical, fixé sur une base horizontale qui porte trois vis avec lesquelles on peut rendre le support parfaitement vertical. Le tube B est libre de mouvement vers le haut ou le bas tout le long du support vertical.

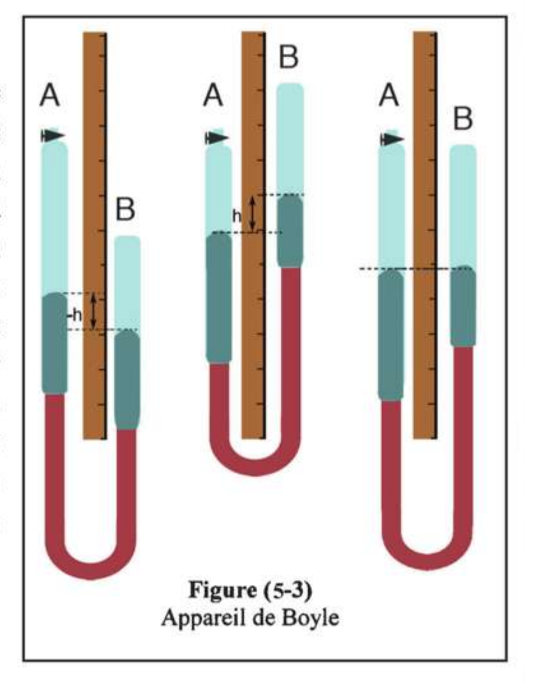


Figure (5-3)
Appareil de Boyle

Etapes de l'expérience :

1. On ouvre le robinet du tube A tout en déplaçant le tube B vers le haut ou le bas jusqu'à ce que la surface du mercure atteigne environ la moitié du tube A. Etant donné que les deux tubes sont ouverts, la surface du mercure dans les deux branches sont au même niveau horizontal.
2. On ferme le robinet du tube A et on mesure le volume V_1 de l'air emprisonné et sa pression P_1 est égale à la pression atmosphérique P_a qu'on détermine au moyen d'un baromètre.
3. On déplace le tube B vers le haut à une distance convenable (quelques cm). On mesure le volume V_2 de l'air emprisonné, ainsi que la différence de hauteur h entre les surfaces du mercure dans les deux tubes. La pression du gaz est $P_2 = P_a + h$
4. On répète l'étape précédente, en déplaçant le tube B sur une distance plus grande. On détermine V_3 et P_3 de la même manière.
5. On déplace le tube B vers le bas jusqu'à ce que le niveau du mercure dans ce tube soit inférieur à celui de A de quelques cm. On mesure le volume de l'air emprisonné V_4 et sa pression P_4. Ainsi $P_4 = Pa - h$, h étant la différence de hauteur entre les niveaux du mercure dans A et B.
6. On répète l'étape précéd ente, en déplaçant le tube B vers le bas sur une autre distance plus grande que la précédente. On mesure V_5 et P_5 de la même manière.
7. On trace la relation graphique entre le volume V du gaz sur l'axe vertical, et l'inverse de la pression (1/P) sur l'axe horizontal (figure 5-4). On obtient une droite qui passe par l'origine.

De cette relation on conclut que :

$V \propto \frac{1}{P}$ C'est la loi de Boyle

Loi de Boyle : à température constante, le volume d'une masse déterminée de gaz est inversement proportionnel à sa pression

$$V = \frac{\text{constante}}{P}$$

$$\therefore P\,V = \text{constante} \qquad (5\text{-}1)$$

A température constante, et pour une même masse de gaz, le produit P V est constant.

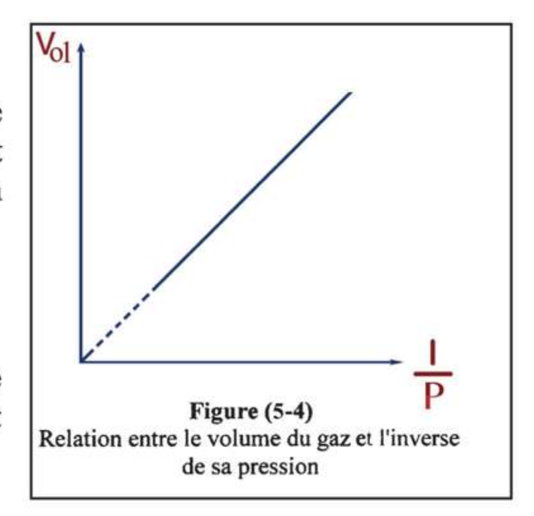


Figure (5-4)
Relation entre le volume du gaz et l'inverse de sa pression

Effet de la température sur le volume d'un gaz sous pression constante :

• On sait que les gaz se dilatent avec la chaleur et se contractent en se refroidissant.
Mais est-ce que des volumes égaux de gaz différents se dilatent également ou inégalement, lorsqu'ils sont soumis à une même pression ?

• Pour vérifier cela, on a recours à l'expérience suivante :

• Prenons deux flacons de même volume. L'ouverture de chacun est fermée par un bouchon, traversé par un tube en verre plié en angle droit, renfermant un index de mercure de 2 ou 3 cm de longueur. Un flacon est rempli de dioxygène et l'autre d'air ou de dioxyde de carbone .
Plongeons les deux flacons dans un bassin contenant de l'eau (figure 5-5).

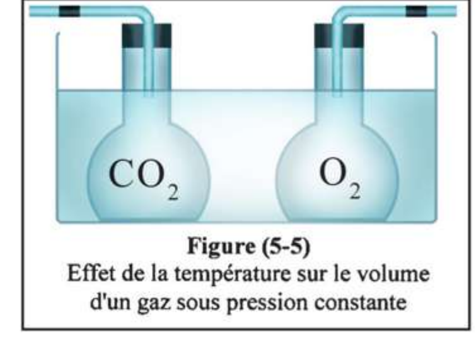


Figure (5-5)
Effet de la température sur le volume d'un gaz sous pression constante

• Ajoutons une petite quantité d'eau chaude à l'eau du bassin, et notons le déplacement de l'index de mercure dans chaque flacon.

• Nous remarquons que les deux index de mercure se déplacent sur même distance, ce qui indique que des volumes égaux de gaz différents se dilatent également lorsque leur température s'élève d'une même valeur sous pression constante.

• Coefficient de dilatation thermique α_V d'un gaz sous pression constante :
C'est l'augmentation de l'unité de volume d'un gaz à 0°C lorsque sa température s'élève de 1°C sous pression constante.

2. Relation entre le volume d'un gaz et sa température sous pression constante (loi de Cha rles).

• On utilise l'appareil de la figure (5-6a) qui se compose d'un tube capillaire en verre de longueur 30 cm et d'environ 1 mm de diamètre. Ce tube est fermé à l'une de ses extrémités contient un index de mercure qui emprisonne une quantité d'air à l'intérieur du tube. Le tube est fixé avec un thermomètre sur une règle graduée.

Figure (5-6a)
Appareil de Charles

Etapes de l'expérience :

1. On place l'appareil dans une enveloppe en verre et on la remplit avec de la glace pilée en fusion (0°C). On laisse la glace suffisamment longtemps pour que l'air à l'intérieur du tube se refroidisse à 0°C.
2. On mesure la longueur de la colonne d'air emprisonnée. Elle est proportionnelle à son volume V_0 car la section du tube est uniforme.
3. On vide l'enveloppe de la glace et de l'eau et on fait passer de la vapeur d'eau de haut en bas. On attend quelques temps, jusqu'à ce que la température de l'air emprisonné devienne 100°C. On mesure la longueur de la colonne d'air emprisonné. Elle est proportionnelle à V_{100}.
4. On détermine le coefficient de dilatation volumique de l'air sous pression constante par la relation : $\alpha = \dfrac{V_{100} - V_0}{V_0 \times 100}$ (5-2)

On trouve ainsi expé rimentalement que le coefficient (α_V) de dilatation volumique sous pression constante pour tous les gaz est $\frac{1}{273}$ pour chaque degré.

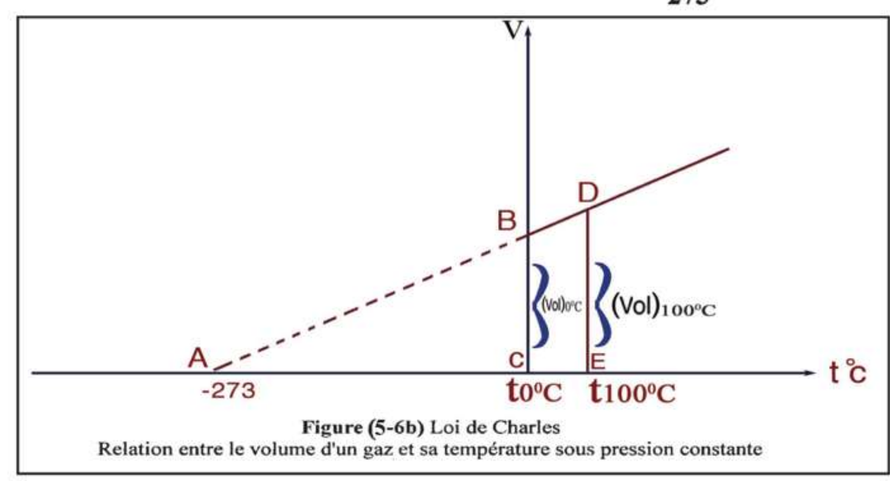


Figure (5-6b) Loi de Charles
Relation entre le volume d'un gaz et sa température sous pression constante

Loi de Charles :

Sous pression constante et pour une même masse de gaz, le volume du gaz augmente de $\frac{1}{273}$ de son volume initial à 0°C, pour chaque degré d'élévation de température.

Effet de la température sur la pression du gaz sous volume constant :

• On utilise un flacon en verre fermé par un bouchon traversé par un tube à deux branches A et B contenant du mercure (figure 5-7).

Les surfaces du mercure dans les deux branches A et B sont au même niveau horizontal. Par suite la pression de l'air emprisonné dans le flacon est égale à la pression atmosphérique. Notons la température t_1 °C de l'air (figure -7a).

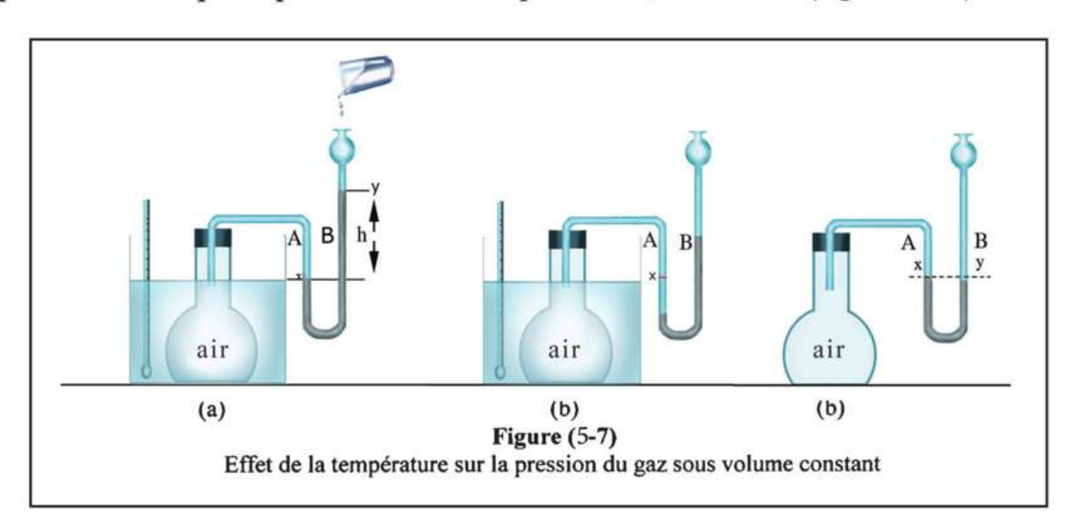


Figure (5-7)
Effet de la température sur la pression du gaz sous volume constant

• On plonge le flacon dans un bassin contenant de l'eau tiède à la température t_2 °C. On remarque que le niveau du mercure s'abaisse dans la branche A et qu'il s'élève dans la branche B (figure 5-7b) .

• On verse du mercure dans l'entonnoir C jusqu'à ce que le niveau du mercure dans la branche A revienne à la marque X. De cette manière, le volume du gaz à t_1 °C = le volume du gaz à t_2 °C (volume constant) (figure 5-7c).

• On constate que le niveau du mercure dans la branche B est supérieur à celui dans la branche A, d'une valeur déterminée h cm. La pression de l'air emprisonné a donc augmenté de h cm de mercure à cause de l'élévation de température de t_1 à t_2.

• On répète l'expérience précédente plusieurs fois, en remplissant chaque fois le flacon par un gaz différent et on détermine à chaque fois l'augmentation de pression du gaz sous volume constant pour la même élévation de température. Le coefficient d'augmentation de pression β_P pour tous les gaz est donc le même.

Conclusions :

1. Sous volume constant, la pression du gaz augmente avec l'élévation de sa température.

$$\Delta P \propto \Delta t$$

2. Sous volume constant, les pressions égales de gaz différents augmentent d'une même valeur, lorsqu'on élève leurs températures d'un même nombre de degrés.

• **Coefficient d'augmentation de pression β_P d'un gaz sous volume constant :**
C'est l'augmentation de l'unité de pression d'un gaz à 0°C lorsque sa température s'élève de 1°C sous volume constant.

3. Relation entre la pression d'un gaz et sa température sous volume constant (loi de la pression) :

• On a prouvé expérimentalement que sous volume constant, l'augmentation ΔP de pression d'un gaz est proportionnelle à sa pression initiale à 0°C (P_0) et à l'augmentation de température Δt.

Ainsi $\Delta P \propto P_0.\Delta t$ ou $\Delta P = \beta_P.P_0.\Delta t$

$$\therefore \beta_P = \frac{\Delta P}{P_0 \times \Delta t} \qquad (5\text{-}3)$$

β_P est une constante appelée "coefficient d'augmentation de pression d'un gaz sous volume constant".

Détermination expérimentale de β :

On utilise l'appareil de Jolly de la figure (5-8) . Il est formé d'un ballon (A) en verre mince, relié à un tube capillaire B replié en deux angles droits. Il est fixé à une plaque verticale qui repose sur une autre horizontale, munie de trois vis. L'extrémité du tube capillaire B est reliée par un tube en caoutchouc, à un large tube C en verre. Ce tube C peut se déplacer vers le haut ou vers le bas sur la plaque verticale. Il existe une règle graduée fixée sur cette plaque.

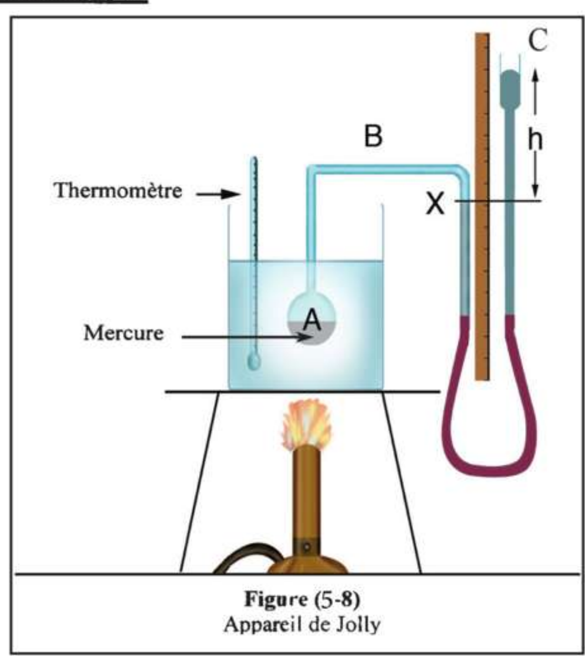


Figure (5-8)
Appareil de Jolly

Etapes de l'expérience :

1. On détermine la pression atmosphérique à l'aide d'un baromètre.
2. On introduit dans le ballon A une quantité de mercure équivalente au (1/7) de son volume pour que le volume du gaz restant dans le ballon reste constant, à toutes les températures (car le coefficient de dilatation du mercure est 7 fois plus grand que celui du verre).
3. On immerge le ballon A dans un récipient contenant de l'eau. Puis on verse du mercure dans la branche libre C jusqu'à ce que sa surface, dans l'autre branche, atteigne la marque X.
4. On chauffe l'eau du récipient jusqu'à ébullition (100°C) et on attend que la température soit fixe et que le mercure cesse de s'abaisser dans la branche reliée au réservoir.
5. On déplace la branche libre C vers le haut jusqu'à ce que le niveau du mercure dans l'autre branche revienne à la marque X. Puis on mesure la différence de hauteur h_1 entre les deux niveaux dans les deux branches. La pression de l'air emprisonné est $(P_{100} = P_a + h_1)$
6. On déplace la branche libre C vers le bas, puis on arrête le chauffage et on attend jusqu'à ce que la température s'abaisse à 90°C. On déplace à nouveau la branche C vers le haut jusqu'à ce que le niveau du mercure dans la branche reliée au ballon revienne à la marque fixe X. On détermine la différence de hauteur h_2 entre les niveaux du mercure dans les deux branches. La pression du gaz à cette température est $P_{90} = P_a + h_2$
7. On répète plusieurs fois les étapes précédentes, à 80°C, 70°C, 50°C. On calcule à chaque fois la pression de l'air emprisonné et on note les résultats dans un tableau.
8. On trace le graphique avec les températures sur l'axe horizontal, et la pression sur l'axe vertical. On obtient une ligne droite.
9. On calcule la valeur du coefficient d'augmentation de pression de l'air sous volume constant par la relation :

$$\beta_P = \frac{P_{100} - P_0}{P_0 \times 100}$$

Expérimentalement, on a trouvé que $\beta_P = \frac{1}{273}$ pour chaque degré d'élévation de température et que β_P est le même pour tous les gaz.

Conclusion : loi de la pression

Sous volume constant, la pression d'une masse déterminée d'un gaz augmente de $\frac{1}{273}$ de sa pression initiale à 0°C pour chaque degré d'élévation de température.

Le zéro absolu (zéro Kelvin) :

• Traçons la relation graphique entre le volume sur l'axe vertical, et la température sur l'axe horizontal. On obtient une ligne droite (figure 5 -9). Si on prolonge cette droite, on trouve qu'elle coupe l'axe des températures à (-273°C).

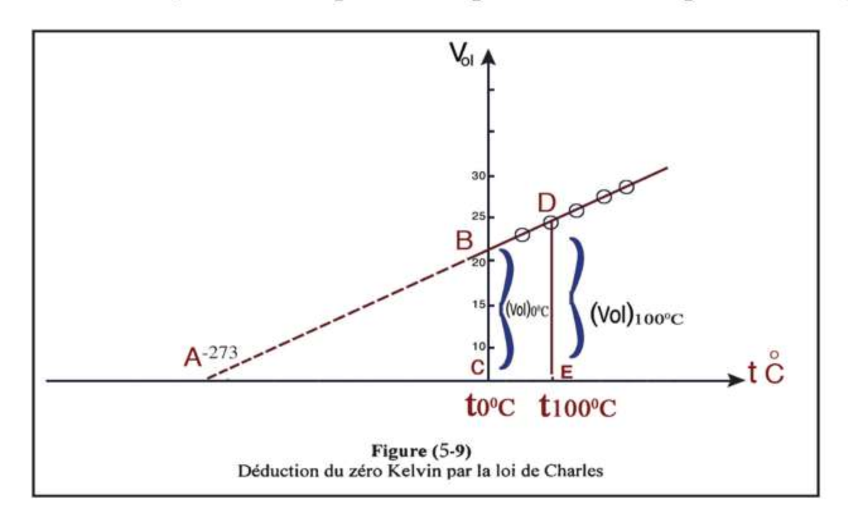


Figure (5-9)
Déduction du zéro Kelvin par la loi de Charles

• On peut aussi utiliser les résultats obtenus avec l'appareil de Jolly et représenter graphiqueme nt la pression sur l'axe vertical et les températures sur l'axe horizontal. On obtient aussi une ligne droite (figure 5-10). Si on prolonge cette droite, on trouve qu'elle coupe l'axe des températures à (-273°C).

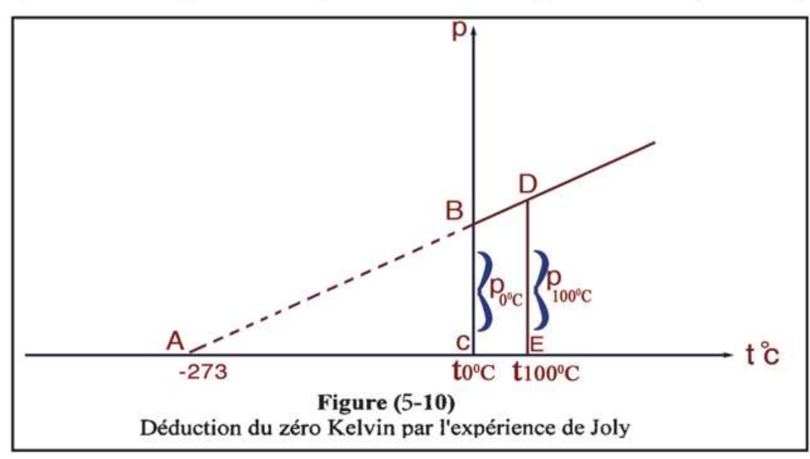


Figure (5-10)
Déduction du zéro Kelvin par l'expérience de Joly

• De ces graphiques on conclut qu'il existe théoriquement une limite inférieure de température qui est de -273°C. Cette température est appelée le zéro Kelvin ou zéro absolu.

• A la température du zéro absolu, s'annulent théoriquement le volume et la pression d'un gaz parfait.

• La valeur de la température en degré Kelvin est toujours positive ; tandis que la température en degré Celsius peut être positive ou négative.

Enrichissons nos connaissances :

Le Zéro absolu :

- En répétant les graphiques des figures (5-9) et (5-10) de sorte que l'axe horizontal représente la température absolue, on obtient les figures (5-11) et (5-12).
- On remarque qu'à 0K, le volume V = 0 et la pression P = 0.
- En réalité, en refroidissant fortement le gaz, celui-ci se transforme en liquide puis en solide donc il n'obéit pas aux lois des gaz.
- On peut donc d éfinir le gaz parfait comme étant le gaz dont volume est la pression s'annulent à 0K.
- On a négligé les forces d'attraction intermoléculaires ainsi que le volume des molécules du gaz par r apport à celui du récipient en déduisant la loi des gaz parfaits.

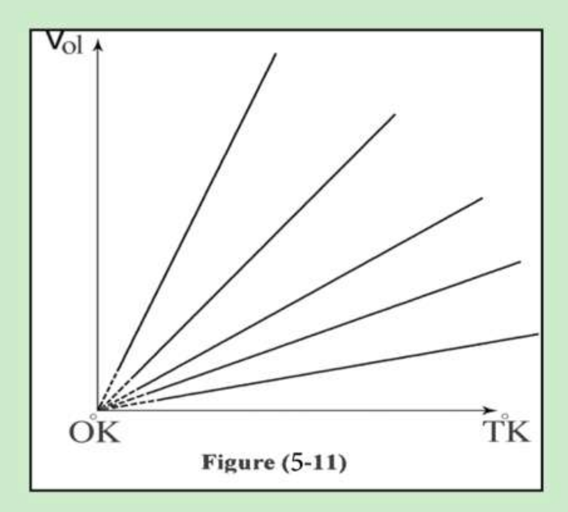


Figure (5-11)

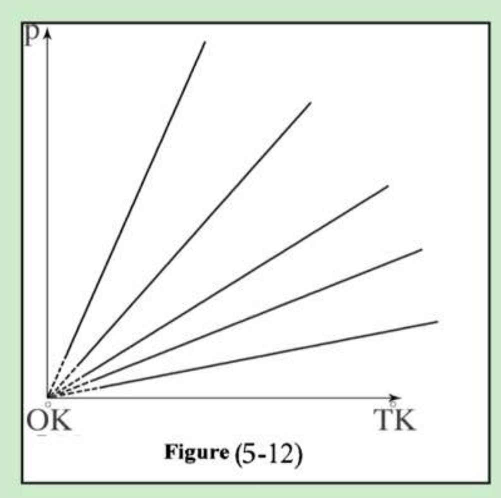


Figure (5-12)

ouver la relation entre l'échelle Celsius et l'échelle Kelvin on considère que :

(-273 C) correspond à 0K
0 C correspond à 273K
100 C correspond à 373K

D'où T(K) = t(C) + 273   (5-5)

Autre forme de la loi de Charles :

A partir du graphique (5-9) on remarque que les deux triangles ABC et ADE sont semblables par suite :

$BC = V_{ol}$; $DE = (V_{ol})_2$; $AC = T_1$; $AE = T_2$

Ainsi $\frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2}$ (5-6)

C.à.d. $\frac{V_{ol}}{T} = \text{constante}$ ou $V_{ol} \propto T$

Deuxième énoncé de la loi de Charles :

Sous pression constante et pour une même masse de gaz, le volume du gaz est directement proportionnel à sa température absolue (en K).

Autre forme de la loi de la pression :

A partir du graphique (5-10) on conclut de la même manière que :

$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ (5-7)

$\frac{P}{T} = \text{constante}$

Et $P \propto T$

Deuxième énoncé de la loi de la pression :

Sous volume constant, et pour une même masse de gaz, la pression du gaz est directement proportionnelle à sa température absolue (en K)

Loi générale des gaz parfaits :

C'est une loi qui relie les trois variables des gaz P, V et T.

1. De la loi de Boyle $V_{ol} \propto \frac{1}{p}$ (si T est constante)

2. De la loi de Charles $V_{ol} \propto T$ (si P est constante)

Donc $V_{ol} \propto \frac{T}{p}$

D'où $V_{ol} = \text{constante} \times \frac{T}{p}$

$\frac{PV}{T} = \text{constante}$ ou

$\frac{P_1 (V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2 (V_{ol})_2}{T_2}$ (5-8)

C'est la loi générale des gaz parfaits

Exemple :

1. Si le volume d'un gaz à 0°C est 450 cm³, calculer son volume à 91°C, sous pression constante.

Solution :

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{450}{(V_{ol})_2} = \frac{273+0}{273+91} = \frac{273}{364}$$

$$\therefore (V_{ol})_2 = \frac{450 \times 364}{273} = 600 \text{ cm}^3$$

2. On chauffe 0,5 litre d'hydrogène de 10°C à 293°C. Quel sera son volume, si sa pression reste constante.

Solution :

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{0{,}5}{(V_{ol})_2} = \frac{273+10}{273+293} = \frac{283}{566}$$

$$\therefore (V_{ol})_2 = \frac{0{,}5 \times 566}{283} = 1 \text{ litre}$$

3. Si la pression d'un gaz à 26°C est 59,8 cm de mercure, calculer sa pression à 130°C, si le volume reste constant.

Solution :

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{59{,}8}{P_2} = \frac{273+26}{273+130} = \frac{299}{403}$$

$$\therefore P_2 = \frac{59{,}8 \times 403}{299} = 80{,}6 \text{ cm de mercure}$$

4. Une quantité de gaz occupe un volume de 380 cm^3 à 27°C et sa pression est 60 cm de mercure. Calculer son volume à T.P.N.

Solution :

T.P.N. veut dire que la pression P = 76 cm de mercure et la température T=273°K

$$\frac{P_1 (V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2 (V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{60 \times 380}{300} = \frac{76 \times (V_{ol})_2}{273}$$

$$\therefore (V_{ol})_2 = \frac{60 \times 380 \times 273}{300 \times 76} = 273 \text{ cm}^3$$

5. Une quantité d'azote occupe 15 litres sous une pression de 12 cm de mercure et une quantité d'oxygène occupe 10 litres sous une pression de 50 cm de mercure. On mélange les deux gaz dans un récipient de volume 5 litres. Si la température des deux gaz reste fixe pendant le mélange, calculer la pression de ce mélange.

Solution :

Chacun des deux gaz occupe dans le mélange la capacité du récipient c.à.d. 5 litres. Pour trouver la pression de l'azote dans le mélange, on applique la formule

$P_1 (V_{ol})_1 = P_2 (V_{ol})_2$

$12 \times 15 = P_2 \times 5$

$P_2 = 36$ cm de mercure

Pour trouver la pression de l'oxygène :

$P_1 (V_{ol})_1 = P_2 (V_{ol})_2$

$\therefore P'_2 = \frac{10 \times 50}{5} = 100$ cm de mercure.

Puisque la pression d'un mélange de deux gaz est égale à la somme de leurs pressions partielles, la pression du mélange est alors :

$P = P_2 + P'_2 = 36 + 100 = 136$ cm de mercure.

Résumé :

A. Définitions et concepts fondamentaux :

1- Les molécules des gaz sont dans un mouvement aléatoire continuel. Durant leur mouvement, les molécules se heurtent entre elles et heurtent les parois du récipient qui les contient.

2- Entre les molécules de gaz, il existe des espaces vides appelés espaces intermoléculaires.

3- Loi de Boyle : à température constante, le volume d'une masse déterminée de gaz est inversement proportionnel à sa pression.

4- Loi de Charles : sous pression constante, l'augmentation du volume d'une masse déterminée d'un gaz vaut $\frac{1}{273}$ de son volume initial à 0°C, pour chaque degré d'élévation de température. Ou, sous pression constante, le volume d'une masse déterminée de gaz est directement proportionnel à sa température en degré Kelvin.

5- Loi de la pression : sous volume constant, l'augmentation de la pression d'une masse déterminée du gaz vaut $\frac{1}{273}$ de sa pression initiale à 0°C, pour chaque degré d'élévation de température. Ou, sous volume constant, la pression d'une masse déterminée de gaz est directement proportionnelle à sa température en degré Kelvin.

6- Le coefficient d'augmentation de pression sous volume constant est égal au coefficient de dilatation du gaz sous pression constante = $\frac{1}{273}$.

7- La température absolue en degré Kelvin = la température en degré Celsius+273

B. Formules :

Soit V le volume d'une masse déterminée d'un gaz, P sa pression et T sa température en degré Kelvin.

1- Loi de Boyle : $P \cdot V_{ol} =$ constante (à température constante)

2- Loi de Charles : $\frac{V_{ol}}{T} =$ constante (sous pression constante)

3- Loi de la pression : $\frac{P}{T} =$ constante (sous volume constant)

4- Loi générale des gaz parfaits : $\frac{P_1 (V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2 (V_{ol})_2}{T_2}$

5- Le coefficient de dilatation du gaz sous pression constante : $\alpha = \frac{V_t - V_0}{V_0 \times t} = \frac{1}{273}$

6- Le coefficient d'augmentation de pression d'un gaz sous volume constant :

$$\beta = \frac{P_t - P_0}{P_0 \times t} = \frac{1}{273}$$

Exercices :

(1) Choisir la bonne réponse :

1. Quelles sont les expressions qui complètent chacune des phrases suivantes :
   a) Augmente en petite quantité.
   b) Diminue en petite quantité.
   c) Reste constante.
   d) Double.
   e) Diminue de moitié.

1- A température constante, si la pression d'un gaz double, son volume ......
2- Si un baromètre se déplace de la surface de la mer au haut d'une montagne, la hauteur du mercure dans le baromètre ......
3- Si la pression d'un gaz est constante et que sa température (en degré Kelvin) diminue de moitié, son volume ......

2. L'augmentation de température du pneu d'une voiture cause :
   1- l'augmentation de la pression de l'air à l'intérieur du pneu.
   2- l'augmentation du volume de l'air à l'intérieur du pneu.
   3- la diminution de l'aire de la surface des roues en contact avec le sol.
   a) (1, 2, 3) vraies b) (1, 2)vraies c) (1, 3) vraies
   d) (3) seulement vraie e) (1) seulement vraie

3. La température du corps humain en degré Kelvin est de :
   a) 0 K b) 37 K c) 100 K d) 373 K e) 310 K

4. Le volume d'une masse déterminée de gaz est proportionnel :
   a) inversement à T si P est constante.
   b) inversement à P si T est constante.
   c) directement à P si T est constante.
   d) directement à T si P est variable.
   e) inversement à P si T est variable.

5. La pression d'un gaz à 10°C devient le double, si le gaz est chauffé sous volume constant jusqu'à une température de :
   a) 20°C b) 80°C c) 160°C d) 293°C e) 410°C

6. Si un gaz est comprimé lentement jusqu'à la moitié de son volume initial (sans échange de chaleur avec l'extérieur) ; alors :
   a) la température du gaz double.
   b) la température du gaz diminue à la moitié de sa valeur.
   c) la pression du gaz diminue à sa moitié.
   d) la pression du gaz devient le double.

(2) Questions de cours :

1- Comment peut-on démontrer par une expérience, que tous les gaz ont le même coefficient de dilatation volumique, sous pression constante ?

2- Comment vérifier expérimentalement la loi de Boyle ?

3- Décrire une méthode permettant de trouver le coefficient de dilatation des gaz, sous pression constante.

4- Comment démontrer par une expérience que la pression des gaz augmente avec l'augmentation de température ?

5- Comment démontrer par une expérience que les gaz ont un seul coefficient d'augmentation de pression sous volume constant ?

6- Comment mesurer expérimentalement la valeur du coefficient d'augmentation de pression d'un gaz sous volume constant ?

7- Comment déterminer le zéro Kevin ?

8- Déduire mathématiquement la loi générale des gaz parfaits.

(3) Problèmes :

1- 1 litre de gaz à 10°C est élevé à une température de 293°C sous une pression constante. Trouver son nouveau volume.
(Réponse : 2 litres)

2- Un récipient fermé contient de l'air à 0°C. Refroidi à (-91)°C, sa pression est de 40 cm de mercure. Quelle est sa pression à 0°C ?
(Réponse : 60 cm de mercure)

3- Une quantité d'oxygène à 91°C, sous une pression de 84 cm de mercure a un volume de 760 cm^3. Quel sera son volume à 0°C et sous une pression de 76 cm de mercure (ou à T.P.N.) ?
(Réponse : 630 cm^3)

4- Un flacon d'air est chauffé de 15°C à 87°C. Quel est le pourcentage du volume de l'air sortant du flacon par rapport à son volume initial ?
(Réponse : 25%)

5- Si la pression de l'air dans un pneu est de 1,5 atm. quand sa température est (-3)°C, calculer cette pression quand la température s'élève à 51°C (on supposant que le volume est constant).
(Réponse : 1,2 P_a)

6- Une bulle d'air à une profondeur de 10,13 m sous la surface de l'eau a un volume de 28 cm^3 à 7°C. Calculer son volume juste avant d'arriver à la surface de l'eau où la température est 27°C ($g = 10\ m/s^2$; $P_a = 1,013\times10^5\ N/m^2$; m.v. de l'eau = 1000 kg/m^3). (Réponse : 60 cm^3).

Questions et exercices de révision générale selon l'ordre des unités du programme

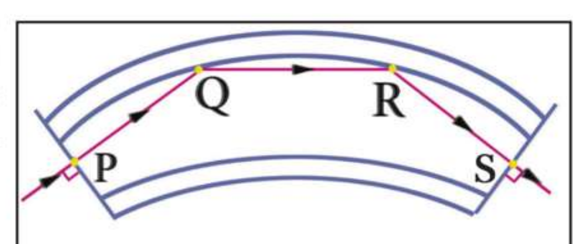
1. Deux fils identiques sont fixés chacun par l'une de leurs extrémités à un mur ; l'autre extrémité est tendue chacune par une personne. On envoie une pulsation transversale dans l'un des fils et après un petit intervalle de temps on envoie une autre dans le second fil. Montrer en justifiant ce qu'il faut faire pour que la deuxième pulsation rattrape la première dans le même sens.

2. Commenter : Lorsque vous êtes à l'intérieur d'une chambre éclairée pendant la nuit, il est facile de voir votre image réfléchie par la vitre d'une fenêtre, alors qu'il est difficile de voir cette image pendant le jour.

3. Deux rayons lumineux se rencontrent en un point sur un écran vertical. On place ensuite une plaque de verre verticale entre les rayons incidents et l'écran. Les deux rayons vont-ils se rencontrer au même point ou ailleurs ? Justifier votre réponse.

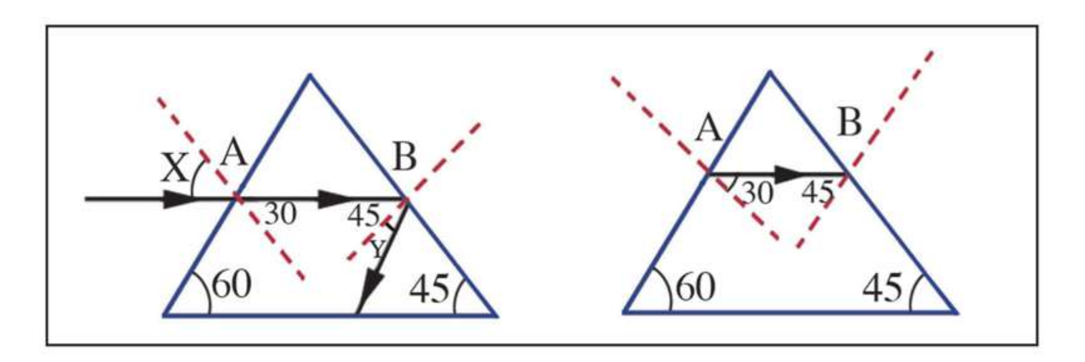
4. Justifier : En plaçant une source de lumière bleue au centre d'un cube solide en verre dont les quatre forces latérales sont chacune devant un écran blanc, on obtient une tache lumineuse circulaire sur chaque écran. Si l'on remplace cette source par une autre de lumière rouge, on obtient sur chacun de ces écrans une tache lumineuse de forme carrée.

5. La figure suivante montre une fi bre optique recouverte d'une couche de verre dont l'indice de réfraction et inférieur à celui du verre intérieur. Un rayon lumineux traverse la fibre dans le sens indiqué : Expliquer pourquoi :



1) le rayon lumineux n'a pas changé de direction en P et S ?
2) Le rayon lumineux a subi la réflexion totale en Q et R ?
3) Il est préférable d'utiliser une fibre formée de deux couches au lieu d'une seule ?

6. La figure (a) montre un schéma (proposé par un professeur à l'un de ses élèves) dans lequel un rayon AB traverse un prisme en verre dont l'angle limite est 42°. Il est demandé à l'élève de tracer la marche du rayon lumineux avant son arrivée au point A et après avoir quitté le point B. La figure (b) représente une tentative fausse de l'élève où l es angles X et Y ne sont pas correctes. Proposer, sans effectuer des calculs et justifier, les variations qu'il faut effectuer pour corriger les angles X et Y.



7. Un prisme triangulaire a un angle au sommet de 60° et un indice de réfraction $=\sqrt{2}$. Calculer l'angle de déviation et l'angle d'incidence dans la position de déviation minimale.

8. Une lumière monochromatique de longueur d'onde 66×10^{-8} m est incidente sur deux fentes rectangulaires étroites distantes de 11×10^{-4} m qui se trouvent à 5 m d'un écran. Calculer la distance entre deux franges consécutives de même nature.

9. Un tuyau en caoutchouc est relié à un robinet par lequel l'eau s'écoule lentement. Expliquer pourquoi l'aire de section de la colonne d'eau qui s'écoule du tuyau diminue quand l'ouverture de celui-ci est dirigée vers le bas alors qu'elle augmente lorsque cette ouverture est dirigée vers le haut.

10. Citer les conditions nécessaires pour que l'écoulement d'un liquide dans un tube soit laminaire. Prouver ensuite, dans ce cas, que la vitesse d'écoulement du liquide en n'importe quel point est inversement proportionnelle à l'aire de section du tube en ce point.

11. Dans une artère principale de 0,5 cm de rayon, la vitesse d'écoulement du sang est 0,4 m/s. Cette artère est reliée a plusieurs capillaires ayant chacun un rayon de 0,2 cm et dans lequel la vitesse d'écoulement est 0,25 m/s. Calculer le nombre de capillaires.

12. L'aire de section de l'une des branches d'un tube en U est le double de l'autre. On verse dans ce tube une quantité convenable d'eau puis on verse dans la branche large une quantité d'huile qui diminue le niveau de l'eau dans celle-ci de 0,5 cm. Calculer la hauteur de la colonne d'huile sachant que $\rho_{eau} = 1000$ kg/m^3 et $\rho_{huile} = 800$ kg/m^3.

13. Dans une presse hydraulique, l'aire de section du petit piston est de 4×10^{-4} m^2 et celle du grand piston de 20×10^{-4} m^2. Si une force de 200N agit sur le petit piston, calculer la masse qu'il faut placer sur le grand piston pour équilibrer celui-ci au même niveau horizontal que celui du petit piston. ($g=10$ ms^{-2}) .

14. En supposant que la vitesse moyenne des molécules du gaz Hélium enfermé dans un récipient est la même que celles du gaz Argon enfermé dans un autre récipient, quel est le gaz qui a une plus haute température et pourquoi ?

Solutions de certaines questions de compréhensions et d'applications

1. Lorsque l'extérieur de la chambre est sombre, l'intensité de la lumière traversant la vitre de l'extérieur vers l'intérieur est nulle. La personne à l'intérieur pourra voir son image par réflexion d'une partie des rayons internes sur la vitre.
Lorsque l'extérieur de la chambre est illuminée, l'intensité de la lumière traversant la vitre de l'extérieur vers l'intérieur sera supérieure à celle réfléchie par les rayons internes sur la vitre. Il sera difficile pour la personne, à l'intérieur, de voir son image par réflexion des rayons internes.

2. La plaque de verre verticale va agir comme un parallélépipède rectangle qui va causer un déplacement des rayons lumineux incidents après avoir traversé la plaque. Ceci augmente la longueur de leur trajet. Le point de rencontre des rayons sera déplacé derrière l'écran à une distance de celui-ci qui est égale au déplacement des rayons.

3.
• L'indice n de réfraction d'une matière est inversement proportionnelle à la longueur d'onde λ de la lumière incidente ($n \propto \frac{1}{\lambda}$).

• Da la relation $\sin \varphi_C = \frac{1}{n}$; l'angle limite φ_C sera proportionnel à λ ($\sin \varphi_C \propto \lambda$).

• La lumière bleue qui a une faible longueur d'onde λ a un petit angle limite ce qui l'empêche de sortir des bords de la face carrée, car les rayons incidents sur ces bords subiront la réflexion totale. Ainsi la lumière bleue sortira de chaque face latérale en formant une tache circulaire.

• La lumière rouge qui a une grande longueur d'onde λ a un angle limite assez grand ce qui lui permet de sortir des bords de chaque face sans subir la réflexion totale en formant une tache de forme carrée.

4.

1) Pas de changement de direction en P et S car le rayon est incident perpendiculairement à la paroi.

2) Réflexion totale en Q et R car l'angle d'incidence est plus grand que l'angle limite.

3) La présence des deux couches permet de mieux transférer la lumière sans perte d'intensité car la couche externe va réfléchir totalement vers l'intérieur les rayons qui peuvent émerger de la première couche.

5.

- L'angle X est faux car selon le schéma de l'élève X =30° (opposés par le sommet). Or le rayon passe d'un milieu moins dense à un autre plus dense, par suite l'angle d'incidence doit être plus grand que l'angle de réfraction c.à.d. qu'il doit être supérieur à 30°.
- L'angle Y est faux car le rayon en B a subi la réflexion totale. L'angle d'incidence 45° est plus grand que l'angle limite 42°. Par suite Y=45° c.à.d. que le rayon doit émerger du prisme perpendiculairement au rayon AB.

6. $\theta = \frac{A}{2} = \frac{60}{2} = 30°$

$$n = \frac{\sin\varphi}{\sin\theta} \rightarrow \sqrt{2} = \frac{\sin\varphi}{\sin\theta} \rightarrow \varphi = 45°$$

$$\alpha = 2\varphi - A = 2 \times 45 - 60 = 30°$$

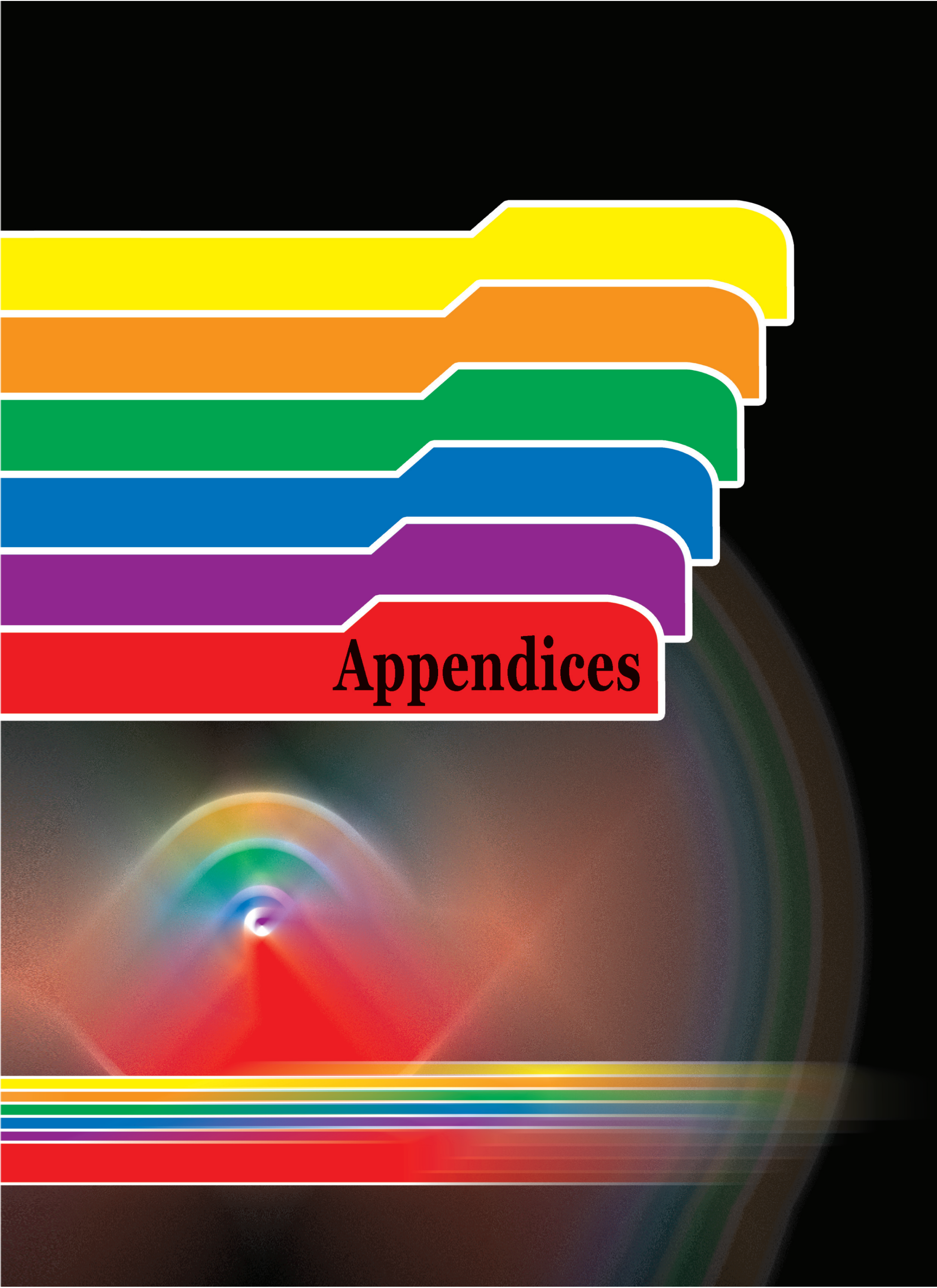
7.

- Le taux d'écoulement de l'eau $Q_V = A.v$ est constant dans les deux cas.
- Lorsque l'ouverture du tuyau est dirigée vers le bas, l'eau accélère car elle sort dans le sens de l'attraction terrestre, sa vitesse augmente, par suite, l'aire de section doit diminuer puisque Q_V est constant.
- Lorsque l'ouverture du tuyau est vers le haut l'eau décélère car elle sort en sens contraire de l'attraction terrestre, sa vitesse diminue par suite l'aire de section doit augmenter puisque Q_V est constant.

8. $A_1.v_1 = n.A_2.v_2$

$\pi\times(0,5\times10^{-2})^2\times0,4 = n\times\pi\times(0,2\times10^{-2})^2\times0,25$

$n = 10$


Appendices

Appendice (1)

Symboles et unités de quelques grandeurs physiques

	Grandeur	Symbole	Unité
1	Déplacement	x, y, z, d	m
2	Aire	A	m^2
3	Volume	V	m^3
4	Temps	t	s
5	Temps périodique (période)	T	s
6	Vitesse	v	$m.s^{-1}$
7	Angle	α, θ, φ	degré (°), rad
8	Fréquence angulaire (vitesse angulaire)	ω	rad s^{-1}
9	Masse	m, M	kg
10	Masse volumique	ρ	$kg.m^{-3}$
11	Accélération	a	$m.s^{-2}$
12	Accélération terrestre (accélération de la chute libre)	g	$m.s^{-2}$
13	Quantité de mouvement	p	$kg.m.s^{-1}$
14	Force	F	N, $kg.m.s^{-2}$
15	Poids	F_g	N
16	Moment mécanique (moment du couple)	τ	N.m
17	Travail	W	J
18	Energie	E	J
19	Energie cinétique	E_c	J
20	Energie potentielle.	E_P	J
21	Puissance	P_W	W, $J.s^{-1}$
22	Température	t, T	°C, °F, °K
23	Quantité de matière	n	mole
24	Pression	P	Pascal, $N.m^{-2}$
25	Pression atmosphérique	P_a	Pascal, $N.m^{-2}$
26	Quantité de chaleur (Energie thermique)	Q_{th}	J
27	Chaleur spécifique	c	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
28	Capacité calorifique	q_{th}	$J.K^{-1}$
29	Chaleur latente de vaporisation	B_{th}	$J.kg^{-1}$
30	Chaleur latente de fusion	L_{th}	$J.kg^{-1}$
31	Coefficient de dilatation volumique d'un gaz	α_V	------
32	Coefficient d'augmentation de pression d'un gaz	β	------

	Grandeur	Symbole	Unité
33	Débit massique (taux d'écoulement massique)	Q_m	kg/s
34	Débit volumique (taux d'écoulement volumique)	Q_V	m^3/s
35	Coefficient de viscosité	η_{vs}	$N.s.m^{-2}$
36	Rendement	η	--------
37	Charge électrique	Q, q	C
38	Charge de l'électron	e	C
39	d.d.p. électrique	V	V
40	d.d.p. d'une pile	V_B	V
41	Force électromotrice	f.é.m.	V
42	Intensité du champ électrique	ε	$V.m^{-1}$
43	Densité du flux électrique	φ_e	Gauss
44	Intensité du courant électrique	I	A
45	Résistance électrique	R	Ω
46	Résistivité	ρ_e	$\Omega.m$
47	Conductivité	σ	$\Omega^{-1}.m^{-1}$
48	Coefficient d'amplification du transistor	α_e, β_e	-------
49	Intensité du champ magnétique	H	$A.m^{-1}$
50	Densité du flux magnétique	B	Tesla, $wb.m^{-2}$
51	Flux magnétique	φ_m	Weber (wb)
52	Coefficient de self-induction	L_m	Henry
53	Coefficient d'induction mutuelle	M_m	Henry
54	Perméabilité magnétique	μ	$Wb.A^{-1}.m^{-1}$
55	Moment du dipôle magnétique	$\overrightarrow{m_d}$	$N.m.Tesla^{-1}$
56	Vitesse de la lumière	c	$m.s^{-1}$
57	Fréquence de l'onde	ν	Hertz (Hz)
58	Fréquence du courant électrique	f	Hz
59	Longueur d'onde	λ	m
60	Indice de réfraction de la lumière	n	------
61	Pouvoir de dispersion chromatique	ω_α	------

Appendice (2)

Constantes physiques fondamentales

	Constantes physiques	Symbole	Valeur numérique
1	Constante de gravitation universelle	G	$6,677\times10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2}
2	Constante de Boltzmann	k	$1,38\times10^{-23}$ J.K^{-1}
3	Nombre d'Avogadro	N_A	$6,02\times10^{23}$ molecule.mol^{-1}
4	Constante générale des gaz	R	8,31 J.mol^{-1}.K^{-1}
5	Constante de Coulomb	K	9×10^{9} N.m^2.c^{-2}
6	Perméabilité du vide	μ	$4\pi\times10^{-7}$ wb.m^{1}.A^{-1}
7	Vitesse de la lumière dans le vide	c	3×10^{8} m.s^{-1}
8	Charge élémentaire	e	$1,6\times10^{-19}$ C
9	Masse de l'électron au repos	m_e	$9,1\times10^{-31}$ kg
10	Charge massique (spécifique) de l'électron	$\frac{e}{m}$	$1,79\times10^{11}$ C.kg^{-1}
11	Masse du proton au repos	m_p	$1,673\times10^{-27}$ kg
12	Constante de Planck	h	$6,63\times10^{-34}$ J.s
13	Unité de masse atomique	u	$1,66\times10^{-27}$ kg
14	Constante de Rydberg	R_H	$1,096\times10^{7}$ m^{-1}
15	Masse du neutron au repos	m_n	$1,675\times10^{-27}$ kg
16	Volume d'une mole de gaz parfait à T.P.N.	-------	$22,4\times10^{-3}$ m^3
17	Intensité du champ de la pesanteur à la surface terrestre	g	9,8066 m.s^{-2}
18	Rayon équatorial terrestre	r_T	$6,374\times10^{6}$ m
19	Masse de la Terre	M_T	$5,976\times10^{24}$ kg
20	Masse de la Lune	M_L	$7,35\times10^{22}$ kg
21	Rayon moyen de la trajectoire de la lune autour de la Terre	R_M	$3,844\times10^{8}$ m
22	Masse du Soleil	M_S	$1,989\times10^{30}$ kg
23	Rayon moyen de la trajectoire de la terre autour du Soleil	R_{TS}	$1,496\times10^{11}$ m
24	Période de rotation de la Terre autour du soleil	an	$3,156\times10^{7}$ s
25	Rayon de notre galaxie	------	$7,5\times10^{20}$ m
26	Masse de notre galaxie	------	$2,7\times10^{41}$ kg
27	Rayon du Soleil	------	7×10^{8} m
28	Intensité des radiations solaires sur la surface de la Terre	------	0,134 J.cm^{-2}.s^{-1}

Appendice (3)

Préfixes standard

préfixe	Valeur de la puissance
Yocto	10^{-24}
Zepto	10^{-21}
Atto	10^{-18}
Femto	10^{-15}
Pico	10^{-12}
Nano	10^{-9}
Micro	10^{-6}
Milli	10^{-3}
Centi	10^{-2}
Déci	10^{-1}
------	10^{0}
Déca	10^{1}
Hecto	10^{2}
Kilo	10^{3}
Méga	10^{6}
Giga	10^{9}
Téra	10^{12}
Peta	10^{15}
Exa	10^{18}
Zetta	10^{21}
Yotta	10^{24}

Appendice (4)

Alphabet Grec

Appellation	minuscule	Majuscule
Alpha	α	Α
Bêta	β	Β
Gamma	γ	Γ
Delta	δ	Δ
Epsilon	ε	Ε
Dzêta	ζ	Ζ
Êta	η	Η
Thêta	θ	Θ
Iota	ι	Ι
Kappa	κ	Κ
Lambda	λ	Λ
Mu	μ	Μ
Nu	ν	Ν
Xi	ξ	Ξ
Omicron	ο	Ο
Pi	π	Π
Rhô	ρ	Ρ
Sigma	σ	Σ
Tau	τ	Τ
Upsilon	υ	Υ
Phi	φ	Φ
Khi	χ	Χ
Psi	ψ	Ψ
Oméga	ω	Ω

Appendice (5)

Biographie de quelques physiciens

Abou El Barakat (Ebn Malka) (1072-1152)	Pionnier en médecine. Il a découvert les lois du mouvement.
Abou El Hassan (Ebn Younes El Masry) (952-1009)	Pionnier en astronomie et inventeur du pendule simple.
Abou El Rihan Mohamed El Beirouni (973-1048)	Pionnier en géographie et en astronomie. Le premier qui a pu calculer le rayon terrestre.
Abou El Hassan (Ebn El Hayssam) (965-1040)	Pionnier en mathématique, astronomie, médecine et le fondateur de l'optique.
Abo Youssef Yacob Ebn Ishak (El Kanadi) (800-873)	Pionnier en philosophie et en physique (surtout l'optique).
Edison (Thomas) (1847-1931)	Inventeur du phonographe, de l'ampoule électrique et de quelques appareils électriques.
Archimède (212-287 av.J.C.)	Plusieurs découvertes ; comme le rapport du rayon d'un cercle à son périmètre, la loi des corps flottants et le miroir réfléchissant.
Avogadro (Amedeo) (1776-1856)	Physicien italien. Il énonça une théorie sur les molécules gazeuses qui porte son nom.
Einstein (Albert) (1879-1955)	Prix Nobel 1921 pour ses recherches en physique théorique et sa découverte de la loi de l'effet photoélectrique.
Ampère (André Marie) (1775-1836)	Il étudia l'électricité, le magnétisme et le télégramme.
Oersted (Christian) (1777-1851)	Fondateur de l'électromagnétisme en 1820.
Ohm (Georg) (1789-1854)	Physicien allemand, il étudia les courants de Galvani, découvrit la distribution de la f.é.m. dans les circuits électriques et énonça la loi d'Ohm.

Pascal (Blaise) (1623-1662)	Il réalisa plusieurs ouvrages et effectua des recherches scientifiques dans les domaines de la mécanique des fluides, les lois de la pression atmosphérique et celles de l'eau ainsi que l'équilibre des liquides.
Badee El Zaman (Ebn El Razaz El Guazri)	Pionnier dans le domaine des mesures, la mécanique et l'industrie des appareils aquatiques.
Bragg (William) (1862-1942)	Physicien anglais, prix Nobel 1915. Il étudia la diffraction des rayons X pour l'analyse de la composition des cristaux.
Bohr (Neils) (1885-1962)	Prix Nobel 1922 pour ses recherches pratiques dans la composition des atomes et les radiations qu'il émet.
Boyle (Robert) (1627-1691)	Il a découvert la loi de la pression des gaz.
Torricelli (Evangelista) (1608-1647)	Inventeur du baromètre à mercure.
Galilée (Galilei) (1564-1642)	Physicien et astronome italien. Il fut le premier à découvrir que la chute des corps est indépendante de leurs masses. Il inventa la première lunette astronomique.
Galvani (Luigi) (1737-1798)	Physicien et médecin italien. Par ses expériences il découvrit que les muscles et les nerfs produisent des charges électriques.
Dalton (John) (1766-1844)	Chimiste et physicien anglais. Il fut le premier à énoncer les hypothèses de la constitution de l'atome et la loi des mélanges gazeux.
Rutherford (Ernest) (1871-1937)	Il étudia expérimentalement les propriétés de l'atome et des radiations. Prix Nobel 1908 pour ses recherches sur la radioactivité des éléments.
Ruhmkorff (Heinrich) (1803-1877)	Savant franco-allemand. Inventeur de la poulie portant son nom et de la bobine d'induction.
Röntgen (Wilhem) (1845-1923)	Physicien allemand. Il a découvert les rayons X.

Schrödinger (Erwin) (1887-1961)	Physicien autrichien. Prix Nobel 1933 pour ses recherches sur la mécanique ondulatoire.
Abdel Rahman Abou Gaafar (Al Khazen) (XII^{ème} siècle)	Pionnier de l'hydrostatique, de la mesure de la pression et de la chaleur.
Faraday (Michael) (1791-1867)	Il a établi les lois de l'électromagnétisme et le concept des champs.
Van der Walls (Johannes) (1837-1923)	Prix Nobel 1910 pour ses études sur les états gazeux et liquides.
Fraunhofer (Joseph Von) (1787-1826)	Il expliqua la présence des raies noires dans le spectre solaire ce qui a permis la découverte des différents éléments se trouvant dans le soleil.
Volta (Alessandro) (1745-1827)	Physicien italien. Il fut le premier à inventer la pile électrique. Il développa la théorie du courant électrique. L'unité de mesure du potentiel porte son nom.
Fermi (Enrico) (1901-1954)	Physicien italien. Prix Nobel 1938. Il étudia l'énergie nucléaire. Ses recherches ont mené à la production d'éléments radioactifs par le bombardement avec des neutrons. Il est le père de la bombe atomique.
Kamerlingh (Onnes) (1853-1926)	Prix Nobel 1913 pour ses recherches sur les propriétés de la matière à basse température qui permit de produire l'hélium liquide et à la découverte du phénomène de la supraconductivité des métaux et de quelques composés.
Kepler (Johannes) (1571-1630)	Astronome allemand. Il énonça les lois du mouvement des planètes, ce qui permit à Newton de découvrir la loi de la gravitation universelle.
Copernic (Nicolas) (1473-1543)	Astronome polonais. Il prouva la rotation de la terre autour de son axe et autour du soleil.
Kirchhoff (Gustav) (1824-1887)	Physicien allemand. Il a découvert les lois des circuits électriques.
Lenz (Heinrich) (1804-1865)	Il a découvert le sens de la f.é.m. induite et du courant induit.

Planck (Max) (1858-1947)	Prix Nobel 1918 pour ses recherches dans le domaine de la physique quantique.
Maxwell (James)	Il fut le premier à énoncer les lois de l'électromagnétisme et des équations qui portent son nom.
Newton (Isaac) (1642-1727)	Il a découvert la composition de la lumière blanche, les lois de la gravitation et celles du mouvement.
Hertz (Heinrich) (1857-1894)	Il a découvert les ondes électromagnétiques et formula des lois à partir des équations de Maxwell.
Huygens (Christian) (1629-1695)	Il fut le premier à découvrir les propriétés ondulatoires de la lumière.
Young (Thomas) (1773-1829)	Physicien et médecin qui étudia expérimentalement l'interférence lumineuse, les couleurs et la théorie ondulatoire de la lumière.

Appendice (6)

Quelques sites Internet concernant la physique

http://imagine.gsf.nasa.gov

http://csep10.phys.utk.edu

http://www.howstuffworks.com

http://www.dke-encyc.com

http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl

http://scienceworld.wolfram.com/physics

http://www.physlink.com

http://www.intuitor.com/moviephysics

http://www.newport.com/spectralanding

http://www.mathpages.com/home/iphysics/htm

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html

المواصفات الفنية:

رقم الكتاب	٩٩٧/١٠/١٥/٣٣/٢/٧
مقاس الكتاب	$\frac{١}{٨}$ ٥٨ × ٨٢ سم
طبع المتن	٤ لون
طبع الغلاف	٤ لون
ورق المتن	٨٠ جم أبيض
ورق الغلاف	٢٠٠ جم كوشيه
عدد الصفحات	١٢٨ + الغلاف
التجليد	بشر وغراء

http://elearning.moe.gov.eg


مطابع الشركة القومية للتوزيع